



SWEEP SİNYALİ PARAMETRE SEÇİMİNDE ÖNERİLEN TEST ATIŞLARI, FARKLI KAYAÇ TÜRLERİ ÜZERİNDE YAPILAN BİR UYGULAMANIN PERSPEKTİFİNDEN VİBROSİSMİK PARAMETRELERİ İÇİN BİR METODOLOJİ

Türker KARAKAŞ¹, Attila AYDEMİR^{2,3*}, Funda BİLİM¹

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

² Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi-KKK, Mühendislik Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Müh. Bölümü, Kuzey Kıbrıs

Anahtar Kelimeler Öz

Vibrosismik, Sweep, Sweep Frekans Aralığı, Test atışı, Sweep Uzunluğu. Hidrokarbon aramacılığında en çok kullanılan yöntem, sismik yansıma yöntemidir. Bu yöntemde kaynak seçimi oldukça önemlidir. Sismik ekipler tarafından dünyaca en çok tercih edilen kaynak türü ise kontrollü bir kaynak oluşu nedeniyle vibratör olmuştur. Vibratörün yere gönderdiği sinyal "sweep sinyali" olarak adlandırılmaktadır. Bu sinyalin özellikleri, kullanıcı tarafından yeraltındaki tabakaların özelliklerine göre farklı bir parametre ile tanımlanır. Her saha, aynı jeolojik özelliklere sahip olmayacağı için parametre seçimleri de yüzeyin topoğrafik koşulları, yer içinin jeolojik şartları, sinyalin sönümlenme ya da yayılma durumu, hedef derinliğe ulaşması gibi birçok faktöre bağlı olacaktır. Bu nedenle sweep sinyalinin parametre seçimi için yürütülmesi gereken saha test çalışmaları veri toplama aşamasından önce yapılmalıdır. Bu çalışmada, hidrokarbon aranması için vibrosismik yöntem kullanılarak seçilebilecek bütün parametreler irdelenmiş, her bir parametrenin alabileceği değerler ve bunların etkileri tartışılmış olup Güneydoğu Anadolu'da seçilen bir çalışma sahasında örnek bir sweep test parametre çalışmasında en uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir. Böylece, yüzeyde bulunan, özellikle de sismik kalite için bozucu litolojilere sahip formasyonlar üzerinde seçilen parametrelerin gösterdiği farklılıklar ortaya konularak nedenleri tartışılmıştır. Bu çalışmanın önemi, sweep test çalışmalarında dikkate alınması gereken parametreler ve bunların hangi tip litolojilerde, ne gibi sonuçlar verdiğinin gösterilmesi açısından sismik endüstrisinde görev alacak jeofizikçilere referans teşkil etmesi şeklinde açıklanabilir.

TEST PROPOSALS IN SWEEP SIGNAL PARAMETER SELECTION, A METHODOLOGY FOR VIBROSEISMIC PARAMETERS FROM THE PERSPECTIVE OF AN APPLICATION ON DIFFERENT ROCK TYPES

Keywords

Vibroseismic, Sweep, Sweep Frequency Range, Test shoot, Sweep Length.

Abstract

The most widely used method in the hydrocarbon exploration is the seismic reflection. Source selection is very important in this method. The most preferred worldwide source type is the vibrator because it is a controlled source. The signal sent by the vibrator to the ground is called as the "sweep signal". Properties of this signal are defined by the user with different parameters according to the properties of the underground layers. Since every site will not have the same geological characteristics, the selection of parameters will depend on many factors such as the topographic conditions, subsurface geology, propagation of the signal and the target depth. For this reason, field test studies for the parameter selection of the sweep signal should be done before data acquisition begins. In this study, all parameters that can be selected by using the vibroseismic method for hydrocarbon exploration were examined, the values to be assigned for each parameter and their effects were discussed, and the most suitable source parameters were determined in a sample sweep test parameter study performed in Southeastern Anatolia. Thus, the differences in the parameters selected on different formations with different dispersive lithologies were revealed and the reasons were discussed. The importance of this study can be explained by the fact that it will be a reference for geophysicists who will work in the seismic industry in terms of parameters in the sweep test studies for different type of lithologies and their responses.

Karakaş, T., Aydemir, A., Bilim, F., (2024). Sweep Sinyali Parametre Seçiminde Önerilen Test Atışları, Farklı Kayaç Türleri Üzerinde Yapılan Bir Uygulamanın Perspektifinden Vibrosismik Parametreleri İçin Bir Metodoloji, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(1), 176-189.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Aydemir, 0000-0001-8590-214x
T. Karakas, 0009-0001-8393-2019
F. Bilim, 0000-0003-1098-4755

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 15.12.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date 22.02.2024
Yayın Tarihi / Published Date 25.03.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: attila.aydemir@metu.edu.tr, attila.aydemir@gmail.com, attila.aydemir@atilim.edu.tr +90-505-660 3433

TEST PROPOSALS IN SWEEP SIGNAL PARAMETER SELECTION, A METHODOLOGY FOR VIBROSEISMIC PARAMETERS FROM THE PERSPECTIVE OF AN APPLICATION ON DIFFERENT ROCK TYPES

Türker KARAKAŞ¹, Attila AYDEMİR^{2,3†}, Funda BİLİM¹

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

² Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi-KKK, Mühendislik Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Müh. Bölümü, Kuzey Kıbrıs

Highlights

- Sweep signal parameters for vibroseis are defined for HC exploration according to the field tests
- In this study, sweep parameter types are explained in detail
- Optimum sweep parameters were determined in a test study performed in Southeastern Anatolia.
- That parameters are suitable for data acquisition on different lithologies in SE Anatolia

Graphical Abstract

SWEEP PARAMETERS	
SWEEP LENGTH	16 s
LOW-CUT FILTER	OUT
HIGH-CUT FILTER	200 Hz, % 80 Nyquist
NUMBER OF SWEEPS/SHOT POINT	4
STARTING FREQUENCY	6 Hz
END FREQUENCY	72 Hz
SWEEP TYPE	LINEAR
TAPER	250 ms

Figure. Determined Sweep Parameters

Purpose and Scope

The main reason for this study is to explain the field tests defining the sweep parameters. We also determined the optimum parameters for different lithologies in SE-Anatolia.

Design/methodology/approach

The objectives are provided using an example and comprehensive test study that was performed on the different geological formations. Results were also confirmed by using a pilot seismic section that indicates the seismic quality differences and characteristic tectonic structures in the SE-Anatolia.

Findings

Optimum sweep parameters for these formations are indicated in a table within the manuscript and the graphical abstract of this paper.

Research limitations/implications

Because the seismic method is quite expensive, these tests were limited in a region but they may be performed on the other formations in SE-Anatolia. In addition, all test study results may be collected from all companies operating in this region by constructing a consortium to prevent these operations being repeated.

Practical implications

These results will be used many seismic / petroleum companies and will save the operation time and reduce the costs of seismic data acquisitions.

Social Implications

Vibroseis is an eco-friendly seismic source and it will mitigate or lower the dynamite usage that may create problems for people, for animals, for plants and for buildings. In addition, the results of this study indicating the best parameters will provide more reliable seismic sections that will lead more accurate seismic interpretation and more accurate well-drilling. Therefore, it will accelerate the oil discoveries to cut the oil importing costs and will help the economical development of the country.

Originality

This study will fill the gap about the knowledge of sweep parameters in Turkey and SE-Anatolia.

† İlgili yazar / Corresponding author: attila.aydemir@metu.edu.tr, attila.aydemir@gmail.com, attila.aydemir@atilim.edu.tr +90-505-660 3433

1. Giriş (Introduction)

Petrol aramacılığında en yaygın olarak kullanılan sismik yöntem sayesinde yeraltı yapısı, sedimanter basenlerdeki tabakalar, temel seviyenin taban topoğrafyası, tabaka kalınlıkları ve hatta bu tabakaların litolojik özelliklerinin belirlenmesi mümkündür. Dahası hidrokarbon rezervuarlarının, rezervuar parametrelerinin tespit edilmesi bile günümüzde kolaylıkla yapılabilmektedir. Sismik yöntemler; sismik kırılma (refraction) ve sismik yansıma (reflection) olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Sismik yöntemlerin bu türlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın, yeraltına sinyal göndermek üzere mutlaka bir sismik kaynak kullanılmak durumundadır. Zemin etüdüleri, su aramaları ve mühendislik yapılarının zemin etüdü çalışmalarında kullanılan sismik kırılma yöntemi, genellikle sığ derinliklere ve sığ hedeflere odaklandığından kullanılacak sismik kaynağın çok güçlü, çok kontrollü olmasına ve çok derinlere nüfuz edebilme özelliğinin olmasına gerek yoktur. Bunun aksine, petrol-doğal gaz, jeotermal ve maden aramacılığı gibi daha derin hedeflere yönelik çalışmalarda ise sismik yansıma yöntemi kullanılır. Yeraltının daha derinleri hedef alındığı için sismik yansıma çalışmalarında daha güçlü ve frekans içeriği daha geniş sinyallere ihtiyaç duyulduğundan sismik kaynak seçimi de çok önemli hale gelmektedir. İstenilen anda ve istenilen sürede yeraltına sinyal enerjisini göndermek doğal deprem dalgalarıyla sağlanamayacağından yapay enerji kaynakları kullanmak zaruri bir durumdur. Bu yapay kaynaklardan petrol endüstrisi tarafından en çok tercih edileni, kontrollü bir kaynak olması sebebiyle vibrosismik çalışmalarda kullanılan vibratörlerdir.

Vibratörler sayesinde yeraltına gönderilen sinyalin genliği (amplitüdü) ve frekans içeriği kontrol edilebildiğinden, yeraltındaki tabakalar ve yapısal özelliklerin beklentilerine uygun sismik sinyal üretmek mümkündür (Sheriff, 1990). Yeraltına gönderilen sinyal enerjisinin önemli bir bölümü yüzeye yakın formasyonlarca soğurulacağından sinyal enerjisinin uzun süreli tutulması ideal bir durumdur. Ancak bu uzun sinyalin kısa bir puls içerisine sıkıştırılması gerekmektedir. Böylece çevreye ve yakındaki yapılara zarar verecek oranda büyük bir enerjiye sahip, keskin bir sinyal piki yaratmak yerine buna eşdeğer uzun bir sinyal yayıp bu sinyali kaydettikten sonra mümkün olduğunca kısa bir sinyal piki içerisine sıkıştırmak daha uygun bir çözümdür. Bunu sağlamak için gönderilecek sinyal, belirli bir zaman aralığında sınırlı bir frekanstan diğerlerine geçiş yapacak şekilde birbirini takip eden sinüsoidal dalgacıklardan meydana gelecek şekilde düzenlenmektedir. Bu dalgacıklar bir başlangıç frekansından bitiş frekansına doğru tarama yaptığından "sweep (tarama) sinyali" olarak adlandırılır.

Hidrokarbon rezervuarlarının aranmasında kullanılacak bu sweep sinyalinin başlangıç-bitiş frekansları, sinyalin amplitüdü, sinyalin uzunluğu, taramanın başlangıç ve bitişinde sinyale dereceli bir artış veya azalış verecek olan törpüleme parametreleri gibi karakteristik özellikleri; çalışma yapılacak alanın topoğrafik koşulları, yüzeydeki formasyonların ve yeraltındaki tabakaların litolojik özelliklerine bağlı olarak önceden tespit edilmelidir. Oldukça maliyetli olan vibrosismik çalışmalarda bu parametrelerin doğru bir biçimde belirlenmesi ve uygulanması için veri toplama çalışmaları öncesi oldukça kapsamlı bir test programı yürütülmelidir. Böylelikle, yeraltındaki jeolojik yapılar ve birimler doğru olarak tariflenebilir.

Bu makalede önce vibrosismik yöntemin gelişimi hakkında çok genel bir tarihsel gelişim süreç bilgileri verilerek yola çıkılacaktır. Özellikle literatürde daha ulaşılabilir olması sebebiyle ülkemizdeki vibrosismik ve sweep parametrelerine yönelik çalışmaları konu alan literatür bilgisine ağırlık verilecektir. Daha sonra kullanılan cihazlar ve bunların çalışma prensipleri anlatılacak, bu cihazlar yardımıyla üretilen sweep parametrelerinin neler olduğu açıklanacaktır. Takip eden bölümde bu parametrelerin tespiti için yürütülecek test çalışmaları aşama aşama anlatılacak ve yüzeydeki jeolojik formasyonların sweep parametrelerine doğrudan etkileri detaylı olarak, sismik kaliteyi ise dolaylı olarak nasıl etkiledikleri tartışılacaktır. Bu amaçla, ülkemizin petrol sahalarının bulunduğu Güney Doğu Anadolu (GDA) bölgesinde yapılan bir örnek saha test çalışmasının kayıtları ve deneysel sonuçları kullanılarak izah edilmeye gayret edilecektir. Nihayetinde, bu özel test çalışmasının sonuçlarından yola çıkılarak gelecekte veri toplama (Data Acquisition) çalışmalarında görev alacak yer bilimcilere ve yorumculara bir dizi test edilmiş ve denemiş parametre sonuçları sunulacaktır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Vibrosismik yöntemi ilk olarak 1952 yılında Continental Oil Company (Conoco) tarafından kullanılmış ve geliştirilmiştir (Crawford vd., 1960). Ancak 1970'li yılların başından itibaren, teknolojik imkanların da gelişmesi ile birlikte vibrosismik yöntemin hem ekipmanları, hem de teorisi geliştirilerek günümüzde en çok kullanılan sismik veri toplama yöntemi olarak sismik endüstrisindeki yerini almıştır (Telford vd., 1991). Özellikle 1990'lı yıllara gelindiğinde vibrosismik, tüm dünya genelinde yapılan iki-boyutlu (2D) ve üç-boyutlu (3D) sismik çalışmaların yarısından fazlasında kullanılan tek yöntem olmuştur (Newman, 1994).

Vibrosismik yöntemlerin, veri toplama aşamasında en çok tercih edildiği 90'lı yıllara kadar kullanılan sweep tipi "lineer sweep" iken bu tarihlerden sonra "non-lineer sweep" türlerinin kullanımı da yaygınlaşmıştır (Pritchard, 1994). İlk yıllarda sweep oluşturmak için tek bir vibratör kullanılırken ilerleyen yıllarda çoklu vibratör

düzenekleri geliştirilerek gürültülerin bastırılması amacıyla atış kaynak patternleri (düzenekleri) oluşturulmuş ve çok daha yüksek kaliteli sismik kesitler elde etmek mümkün olmuştur (Belcher vd., 1986; Costain ve Coruh, 1989). Benzer şekilde, farklı frekans bant genişlikleri denenerek daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı da ortaya çıkmıştır (Domoracki vd., 1989). Frekans bant genişliğine ek olarak, yaratılmak istenen sinyal dalgacığının kenar salınımlarının (oscillations) azaltılması için vibratörlerin meydana getirdiği sweep sinyalinin başlangıcı ve sonuna bir törpüleme (taper) işlemi uygulanması gerekliliği de görülmüştür (Domoracki vd., 1989; Gresko ve Costain, 1985). Böylece vibrosismik tekniğinde test edilmesi gereken parametreler daha da çeşitli hale gelmiştir.

Bu parametrelerin tespiti için yapılan öncül çalışmalar Atlantik kıyı düzlüklerinde sürdürülmüş ve birçok farklı parametre test edilmiştir (Örneğin; Costain ve Coruh, 1989; Scott, 1987; Hubbard vd., 1991). 1990'lı yılların hemen öncesinde ve ilk yarısında bu yöntem üzerine yeni bazı kitapların yazıldığı da görülmektedir; Geyer (1989), Anstey (1991) ve Baeten ve Ziolkowski (1990) bunların başında gelir. Daha sonraki yıllarda vibrosismik yöntemini direkt olarak anlatmasalar dahi, birçok çalışmada bu yöntemden bahsedildiği ya da jeolojik bazı problemlerin çözümünde vibrosismik kullanıldığı anımsanabilir.

Günümüzde bütün bu beklentileri karşılayabilecek şekilde dizayn edilmiş birçok vibratör çeşidi vardır (Anstey, 1991; Baeten ve Ziolkowski, 1990). Bunlar, yine birçok petrol şirketi tarafından kullanılırlar. Bu vibratörlerin çalışma prensipleri, mekanizmaları, elektrik-elektronik kontrol sistemleri üretici firmalar tarafından hazırlanan kılavuzlarda detaylı olarak anlatılmaktadır. Bundan başka, bu bilgilere yine üretici firmaların, operatörleri eğitmek amacıyla hazırladıkları kurs notlarından ulaşabilmekteyiz. Örneğin, en büyük üretici firma olan Sercel firmasının kurs notları oldukça kapsamlı bir örnektir (Sercel 408 UL Training Course Manual, 2001). Ancak, ticari gizlilik gerekçeleriyle literatürde bu teknik detaylar akademik makaleler veya tebliğler içerisinde yer almamaktadır. Yine maalesef, ülkemizde bu konularda yazılmış kitap veya makale sayısının çok sınırlı sayıda olmaları sebebiyle (Sakallıoğlu vd., 2012; Güreli, 2021), Türkçe kaynak olarak, vibrosismik kullanılan projelerde görev almış jeofizik mühendislerinin, bu kurs notlarından da yararlanarak yapmış oldukları tez çalışmaları (Sakallıoğlu, 1992; Başar, 2007; Gültekin, 2010; Karaca, 2015; Toksoy, 2019) ulaşılacak yegane referans çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır ki bu makale de Türker Karakaş'ın yüksek lisans (Master-MSc) tez çalışmasından derlenerek yazılmıştır.

Yukarıda bahsedilen tez çalışmalarından ilki Sakallıoğlu (1992) tarafından hazırlanmıştır. İlgili çalışmada Güney Doğu Anadolu (GDA), binik yapı kuşağındaki en zorlu problem olan sismik veri kalitesinin artırılması için kullanılan vibrosismik yönteminde, farklı sweep türlerinin (lineer, nonlineer ve kombi sweep) sonuçları irdelenerek bindirme kuşağının sismik veri kalitesi sorunu çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmadan yaklaşık 15 yıl sonra Başar (2007), sweep parametrelerini, bunlarla yapılan test çalışmaları üzerinde kalite kontrol işlemlerini, çoklu vibratör kullanım gerekçelerini ve yüksek güvenilirlikli-yüksek ayrımlılıklı (HFVS) vibrosismik veri toplama yöntemini içeren tez çalışmasını tamamlamıştır. Gültekin (2010) ise bu parametrelerin yüksek çözünürlük elde edilmesindeki etkilerini tartışmıştır. Karaca (2015), ülkemiz için önemli bir enerji kaynağı olan jeotermal alanların araştırılmasında kullanılan vibrosismik yöntemde, veri toplama öncesi yapılan test atışlarının önemi, veri kalitesi açısından incelenmesi ve değerlendirilme süreçlerini detaylı olarak anlatmıştır. Toksoy (2019), Diyarbakır-Batman arasında kalan ve tümüyle klastiklerden oluşan Şelmo Formasyonu üzerinde yürütülen vibrosismik çalışmasının sonuçlarını incelediği çalışmada, sulama kanallarının yoğun olduğu ve yaygın bir biçimde tarımsal faaliyet yürütülen alanlarda karşılaşılan sorunları da ele alarak, Şelmo Formasyonu'nun parametre testlerine göstermiş olduğu tepkileri detaylı olarak incelemiştir. Bu konuda yapılan en son tez çalışmasında Karakaş (2024), yukarıda anılan tüm tez çalışmalarından daha kapsamlı olarak vibrosismik yöntemlerdeki bütün parametreleri ve kullanılan cihazları anlatarak, günümüzde kullanılan en son ve en modern teknikleri vermiş ve bunlarla yürütülen test çalışmalarını bütün detaylarıyla ortaya koymuş, en nihayetinde de GDA bölgesinde yürütülen bir test çalışmasından örnekler vererek farklı litolojilere sahip üç değişik jeolojik formasyonun vibrosismik veri toplama çalışmasına göstermiş olduğu yanıtlar eşliğinde hangi parametrelerin kullanılması gerektiği konusunda bir genellemeye ulaşmıştır. Bundan başka, GDA bölgesinde şariyaj kuşağının hemen önünde jips-anhidrit-şeyl ardalınması, klastikler ve karbonatlar şeklinde sıralanan ve GDA'nın genel jeolojik çatısı altındaki en bilinen litolojilerde kullanılması gereken parametre değerlerini tespit etmiştir. Böylece, GDA bölgesinde bundan sonra yürütülecek 2-B ve 3-B sismik veri toplama çalışmalarında oldukça maliyetli olan parametrelerin tespitine yönelik olarak yapılacak test çalışmaları için yol gösteren ve bu süreci en az maliyetle tamamlamaya yarayacak sonuçları ortaya çıkarmıştır. Aşağıda, öncelikle bu parametrelerin neler olduğu kısaca anlatılacak, sonrasında ise ilgili parametreler için kullanılacak değerlerin tespitine yönelik olarak GDA'da yapılan sweep test çalışmalarının görsel gösterimleri eşliğinde elde edilen sonuçlar, nedenleriyle birlikte tartışılacaktır.

3. Vibrosizmiğin Çalışma Prensipleri (Working Principles of Vibroseismic)

Vibratör sistemini bileşenleri bakımından üç ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar; Yere gönderilecek olan sinyali üretmek amacıyla sweep üretici, Sweep sinyalinin yere gönderilebilmesi için vibratör ve Çapraz ilişki (cross-correlation) operatörüdür.

Kontrollü sismik kaynak olan vibratörün, kontrolsüz bir kaynak çeşidi olan dinamitten farklı olarak, yere gönderdiği sinyal anlık bir sinyal değildir, zaman cinsinden belirli bir süreye sahiptir. Vibrolar özel donanım ve hidrolik sistemlerden oluşmuş iş makineleridir. Ağlıkları yaklaşık 7.5-45 ton arasında değişmektedir. Birden fazla vibratör çeşitli düzenlerle sıralanarak kaynak dizilimini oluştururlar (Şekil 1). Vibro gücünün artışı sağlamak amacıyla birden fazla vibratör, eş zamanlı olarak kullanılarak yeraltına gönderilecek enerji istenilen düzeye çıkarılır. Genellikle bir fleet için vibro sayısı 5 adettir. Bir adedi yedek tutulup, genellikle 4 vibro ile enerji açığa çıkarılır. Atış noktasına yanaşan vibrolar, çelik tablasını (base plate) yer yüzeyine temas edecek şekilde indirir (Şekil 1). Bu tablalar sert çelikten yapılmıştır. Daha sonra bu tablalar aracılığıyla yer içerisine belirli frekanslarda titreşim gönderme işlemi başlar. Tabla tekrar yukarı kaldırılır ve her atış noktası için bu işlem tekrarlanır.



Şekil 1. Atış düzeni (sismik enerji kaynak düzeni) oluşturan vibratörler (üstte) ve yer yüzeyine temas eden vibro çelik tablası (Vibrator pattern in operation (above) and base plate coupling with the surface (below)).

Bir vibro için yere uygulanan güç, vibratörün maksimum gücü değildir. Eğer enerji ortaya çıkarmak için maksimum güç uygulanır ise vibrolar zarar görebilir. Bu nedenle vibrolar maksimum gücünün %80' ini kullanarak enerji açığa çıkarır ve kayıt alınır. Vibratörün gücü kontrol edilebilir olduğu için, arazinin eğimli ve engebeli olması durumunda gücü azaltılabilir ve herhangi bir kazaya sebebiyet verilmesi engellenir. Vibratörlerin gücünü artırmak, yere gönderilen sweep sinyalinde değişikliğe sebep olmaz ya da bu değişiklikler de isteğe bağlı olarak düzenlenebilen değişikliklerdir. Vibratörün gücü ve/veya sweep sayısı arttıkça sweep sinyalinin genliği de aynı oranda artar. Vibratör sayısının azaltılması durumunda, her atış noktası için planlanandan daha fazla sweep yapılarak yere gönderilen sinyalin güç kaybı önlenir.

Kayıt aracının (recorder) elektronik sistemi, tanımlanmış sweep sinyalini radyo frekansları şeklinde telsiz vasıtasıyla vibratör üzerinde bulunan elektronik sisteme gönderir. Vibratörün elektronik sistemi ise gelen sinyali hidrolik sistemin servo cihazına gönderir. Servo, gelen sinyaller doğrultusunda sisteme basınçlı hidrolik giriş-

çıkışını temin ederek tablanın (Şekil 1) istenilen frekanslarda titreşmesini sağlar. Vibratörün yere göndermek istediği sinyalin değerinin istenilen sinyal ile aynı olup olmadığından emin olmak amacıyla, tabla üzerine tamamen jeofon prensipleri ile aynı şekilde çalışan, jeofona benzeyen bir alıcı monte edilmiştir. Tablanın hareketlerini bu alıcı kaydeder ve tablanın hareketlerini kayıt sistemine aktararak vibratörün yere gönderdiği sinyalin güvenilirliğini kontrol eder. Bu sayede, vibratör hareketleriyle yere iletilmek istenen referans sinyali (sweep sinyali) kıyaslanabilir ve genlik ile fazda oluşabilecek aykırılıklar veya istenmeyen etkiler giderilerek referans sinyale olabildiğince yakın bir sinyalin yeraltına aktarımı sağlanır. Hidrolik sistem aracılığıyla mekanik hareketlere çevrilerek yer içine gönderilen sinyal, yansıtıcı tabaka yüzeylerinden yansıyarak aktif durumdaki alıcılara ulaşır. Jeofon adı verilen alıcılar tarafından kaydedilen yansıma verileri, kayıt cihazında referans sinyal ile çapraz ilişki (cross-correlation) işlemine tabi tutularak sismik kayıt (iz) elde edilir. Bütün bu işlemlerin sonucunda, yer içerisindeki tabakaları gösteren, zaman ortamındaki yansıma serileri elde edilir.

4. Sweep Parametreleri (Sweep Parameters)

Bir sweep sinyalini belirleyen veya sweep sinyaline etki eden parametreler şunlardır; Sweep tipi, Sweep sayısı, Sweep uzunluğu, Sweep yönü, Taper (törpüleme), Sweep frekans bandı, Vibratör gücü, Vibratör düzeni. Bu parametreler aşağıda kısaca anlatılacaktır ancak, vibratör gücü sabit olduğundan sadece sweep sayısı test edilecektir. Vibratör düzeni için sismik endüstrisinde en çok kullanılan ve 4 vibratörün ard arda (inline) şeklinde dizildiği düzenek bu çalışmada da tercih edilmiştir.

4.1 Sweep Tipleri (Sweep Types)

Yer altına gönderilen sweep sinyali farklı tiplerde olabilir. Endüstride en çok tercih edilen iki sweep tipi; doğrusal sweep (linear sweep) ve doğrusal olmayan sweep (non-linear sweep)'tir. Doğrusal olmayan sweep'ler: logaritmik sweep, Sabit dB/Oct, Sabit dB/Hz ve T^n tipi sweep'lerdir. Hedeflenen seviyeler yeterince tanımlanabiliyorsa ve her frekansın eşit şekilde taranması isteniyor ise tercih edilecek olan sweep tipi doğrusal sweep olmalıdır. Zamanla anlık frekansı değişen, sabit genlikli ve sürekli salınım gösteren doğrusal sweep' in tercih edilmesi demek, uzunluğu belirlenen sweep frekans aralığının her saniye için eşit olarak taranması anlamına gelir.

Yüzeye yakın tabakalar için daha net bilgi elde edilmek isteniyor ise yani sığ tabakalar hedefleniyor ise doğrusal olmayan sweep tipi seçilerek yüksek frekanslı bileşenlerde daha uzun süre tarama yapılabilir ya da daha derin seviyelerden, düşük frekans içeriği ile bilgi edinilecek ise doğrusal olmayan sweep seçilerek düşük frekanslı bileşenler daha fazla sürede taranır. Doğrusal olmayan sweep ile hedeflenen seviyelere bağlı olacak şekilde sweep (tarama) süresince frekanslara çok daha uzun süreler ayırma olanağı sağlar. Bilinen sweep çeşitleri dışında bazı firmaların geliştirmiş oldukları sweep çeşitleri de mevcuttur. Bunlar; poly sweep, combi sweep ve encoded sweeplerdir. Bu sweep tipleri farklı amaç ve hedefler doğrultusunda kullanılmış olmalarına rağmen devamlılık sağlayamamıştır. Ancak petrol endüstrisinde en çok tercih edilen sweep türü Doğrusal (Linear) sweep'tir. Bu sismik çalışmanın da amacı derinlerdeki petrol rezervuarlarının tespiti olduğu için test çalışmasında ve sonrasındaki veri toplama aşamasında doğrusal (linear) sweep tercih edilmiştir.

4.2 Sweep Sayısı (Number of Sweeps)

Vibratörün her bir atış noktasında kaç defa yeraltına sweep (tarama) sinyali göndermesi gerektiğinin belirlendiği sayıdır. Sayının belirlenmesi vibronun yere gönderdiği enerjiye yeraltı tabakalarının karşı cevabı ile alakalıdır. Enerji zayıf bir şekilde iletiliyor ise sweep sayısı artırılmalıdır. Buradaki kriter hedef seviye ve uzak ofsetlere enerji iletiminin sağlıklı bir şekilde iletilmesi ile alakalıdır. Sweep sayısı maliyeti etkileyen bir faktördür çünkü sweep sayısının fazla seçilmesi maliyeti ve en önemlisi zaman kaybının artması anlamına gelmektedir. Bu durum saha çalışmalarında istenmeyen bir olgudur. Bundan dolayı, yeraltını en uygun şekilde tanımlayacak kadar az sayıda sweep sayısını belirlemeye gayret edilmelidir. Sweep sayısının artması, yansımaları daha net göstermektedir, özellikle daha derindeki yansımalar bakımından oldukça iyidir. Sweep sayısının artması ile yani zaman ortamında toplanması sebebiyle harmonikler de bir miktar elimine olmaktadır.

4.3 Sweep Uzunluğu (Sweep Length)

Bir sweep sinyalinin yere gönderilmesi için geçen süreye sweep uzunluğu denir. Sinyalde frekans farklılıkları olmasına rağmen genlik değişimi yoktur. Diğer bir deyişle, sweep süresinin uzunluğu sweep sinyalinin genliğini etkilemez fakat kros-korelasyon dalgacığının genliğini etkiler. Sahadaki hedef seviyeler derin olarak belirlenmiş ise derinlere daha fazla enerji göndermek ve derin yansımaları kaydedebilmek için sweep uzunluğunun da yeterince uzun olması gerekecektir. Uzun sweep sinyalinin olumsuz tarafları da vardır. Kayıt sonlarında hayalet yansımaların meydana gelmesi, uzun sweeplerin daha pahalı olması, bazı vibratörlerde uzun sweeplerin mekanik problemler yaratması, korelasyon gürültü seviyesini arttırması sayılabilir.

4.4 Sweep Yönü (Sweep Direction)

Sweep sinyalin frekans bandı, zamanda alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru gidiyor ise bu yukarı yönlü veya artan sweep (up-sweep) olarak adlandırılır. Eğer yüksek frekanslardan alçağa doğru gidiyor ise buna da azalan sweep (down-sweep) denir. Sweep lineer ve frekans bantları aynı ise her iki sweep de yaklaşık olarak aynı spektrumu verecektir. Buna karşılık, azalan sweep başlangıçta yüksek frekanslar içerdiğinden sinyal derinlere iletilmeden sönmülmeye başlar. Sığ tabakalar yüksek frekanslı sweepleri daha çabuk sönmeler. Bu sönmüleme, istenilen frekanslardaki bileşenlerin tam olarak aktarılamamasına sebep olur. Bir diğer husus; yukarı sweep (Up-sweep) kros-korelasyon yapıldığında, harmonikler negatif zamanda olur. Aşağı sweep (down-sweep) kros-korelasyon yapıldığında ise harmonikler pozitif zamanda olur. Bu durumda kaydı daha fazla bozar. Bu amaçla yukarı sweep tercih edilir. Bu nedenlerle artan sweep tercihi daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca, azalan sweep tercih edildiğinde korelasyon işlemi sonrasında hayalet yansımalar olur. Bu sebeplerle bu test çalışmasında artan sweep (up-sweep) kullanılmıştır.

4.5 Törpüleme (Taper)

Sweep band genişliği ve sweep uzunluğu kararlaştırıldıktan sonra, yaklaşık sweep boyunun %4-5' i kadar bir süre için sweep sinyalinin başlangıç ve bitişinde referans sinyali genişliği en yüksek seviyede kullanılmaz (Evans 1997). Bu işlemin adı taper (törpüleme) olarak adlandırılır. Sinyalin genel kullanımında başlangıcı ve bitişindeki taper süresi aynıdır. Bu durumda törpüleme tipi de aynı olacaktır. Taper işleminin amacı, vibratörün harekete düşük güçte başlayıp düşük güçte bitirmesidir. Bu durumda vibratörün mekanik aksamında ortaya çıkabilecek zararların minimuma indirilmesi hedeflenir. Taper tipleri farklılık gösterir. Bu tipler; lineer, cosinüs, sinüs ve Gaussian olarak adlandırılır. Zemine bağlı olarak farklı boylarda seçilebilir ancak Taper tipleri içerisinde en çok tercih edileni cosinüs tipidir. Nedeni ise diğer taper tiplerine oranla yan salınımların etkilerini daha iyi azaltabilmesi ve daha kolay uygulanabilmesidir. Taper boyu uzadıkça sinyalin yan salınımları azalacak ve iğnecik fonksiyonuna yaklaşacaktır. Bu çalışmada da cosinüs törpüleme tercih edilmiştir.

4.6 Sweep Frekans Bandı (Sweep Frequency Band)

Sismik çalışmalarda frekans bandı ve ona bağlı diğer parametreler olan “Bant genişliği (başlangıç ve bitiş frekansları arasındaki fark)”, “Merkez frekansı (başlangıç ve bitiş frekanslarının toplamının yarısı)” ve “Oktav (band genişliğinin oranı)” iyi tespit edilmelidir. Elbette, bunun için sweep başlangıç ve bitiş frekanslarının öncelikle belirlenmesi gerekmektedir.

Teorik olarak düşünüldüğünde frekans bandının geniş olması en iyi durum olarak nitelendirilir. Sismik çalışmalarda bu nedenle genellikle en uzun frekans bantları ile çalışılır. Bu tercihler neticesinde hem düşük frekans, hem de yüksek frekans bileşenlerinden sinyal elde edilir. Bitiş frekansları arttırılmış olan sinyallerin genellikle genlik spektrumları çok daha geniş olur ve özilişki sinyalleri iğnecik fonksiyonuna yaklaşır, buna ek olarak yan salınımları azalır. Bununla beraber, sweep bant genişliği en az 2 Octav olmalıdır.

Sweep frekansları seçilirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli durum, çalışılacak sahanın jeolojik ve jeofizik özellikleridir. Bu özellikler; yeraltı yapılarının jeolojik özellikleri, değişik frekanslar seçildiğinde yerin vereceği cevap, yapıların büyüklüğü ve kapladığı alanın genişliği, sahadaki yapıların derinliği, yüzey dalgaları ve özellikleri, minimum bant genişliği ve sahadaki hakim frekanstır. Ancak, bunların hepsinden daha çok sismik kaliteyi etkileyen, yüzeydeki formasyonların litolojisidir.

5. Farklı litolojiler için en uygun parametrelerin tespitine yönelik bir sweep test çalışması (A sweep test study to determine the optimum parameters for different lithologies)

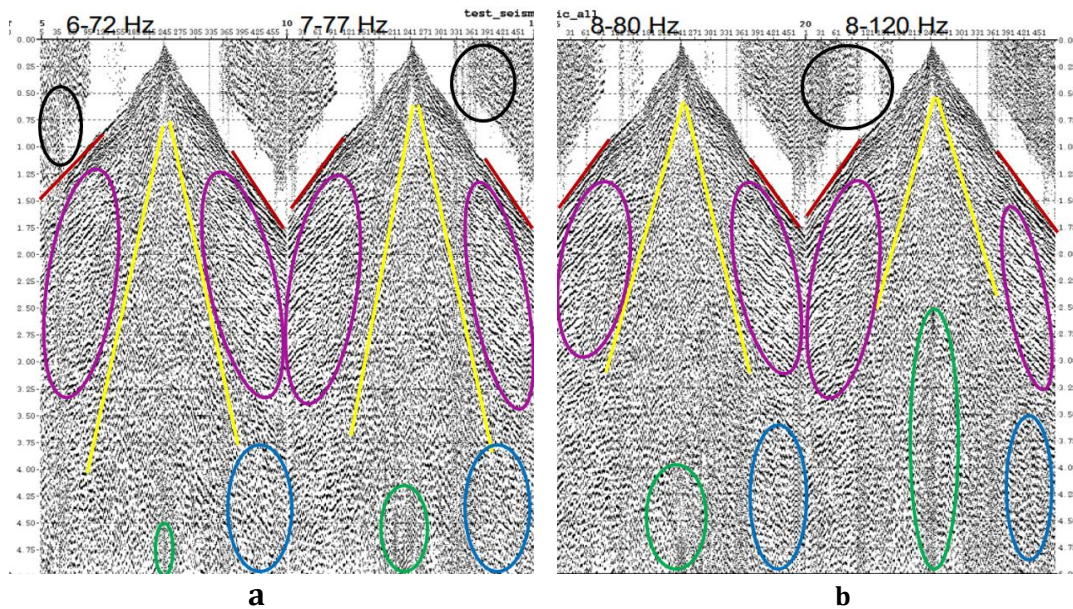
Ülkemiz birçok formasyonu bir arada barındıran, spesifik farklılıklara sahip bir jeolojik ve tektonik konuma sahiptir. Özellikle petrol aramacılığının aktif olarak yapıldığı Güneydoğu Anadolu (GDA) bölgesi yüzeyinde birçok jeolojik formasyon mevcuttur. Sismik yansıma çalışmalarında formasyon etkisi, özellikle sismik kaydın yorumlanması aşamasında çok önemlidir. GDA genelinde, yüzeyde çok geniş alanlarda mostra veren Senozoik yaşlı formasyonlardan bazıları; Gercüş Formasyonu, Hoya Formasyonu, Germik Formasyonu, Fırat Formasyonu, Şelmo Formasyonu, Yeniköy Formasyonu adlarıyla anılan formasyonlardır (Aydemir vd., 2006).

Bu formasyonların bazıları sismik kayıt üzerinde bozucu etkiye sahip kireçtaşı, jips, bazalt ve anhidrit gibi birimleri içlerinde barındırırlar. Gercüş Formasyonu çakıltası, kumtaşı ve marnlardan oluşan formasyondur (Aydemir vd., 2006). Sismik kayıt üzerinde bu formasyonda yapılan çalışmalarda bozucu etkiler çok görülmez. Fakat Hoya Formasyonu; kısmen dolomitik, erimeli kireçtaşlarından oluşan bir formasyon olması nedeniyle sismik kayıta çok fazla bozucu etkiye sahiptir. Germik Formasyonu da yer yer dolomitik, tebeşirli kireçtaşı, killi kireçtaşları ile başlar, yukarıya doğru ise kalın jips ve anhidrit ile devam eder. Bu formasyon üzerinde yapılan sismik çalışmalardan elde edilen sismik kayıta da bozucu etkiler net şekilde gözlemlenmektedir. Fırat

Formasyonu da tıpkı Germik Formasyonu gibi sismik kayıt üzerinde bozucu etkiye sahip birimleri bünyesinde bulundurulur. Karacadağ Volkanitleri ise olivin toleyit, olivin bazalt, olivin ojit bazaltlar ve piroklastiklerden oluşmaktadır ve bazalt yoğunluğunun en fazla olduğu formasyondur. Bazalt da yapısı gereği sismik kayıta bozucu etkiye sahiptir. Özellikle Diyarbakır yakınlarındaki Karacadağ eteklerinde sismik kayıt üzerinde bozucu etkileri çok daha fazladır (Toksoy, 2019). Şelmo Formasyonu ise kumtaşı, şeyl, konglomera, çamurtaşı gibi birimlerden oluşmaktadır ve sismik kayıt açısından bozucu etkileri çok azdır (Aydemir vd., 2006).

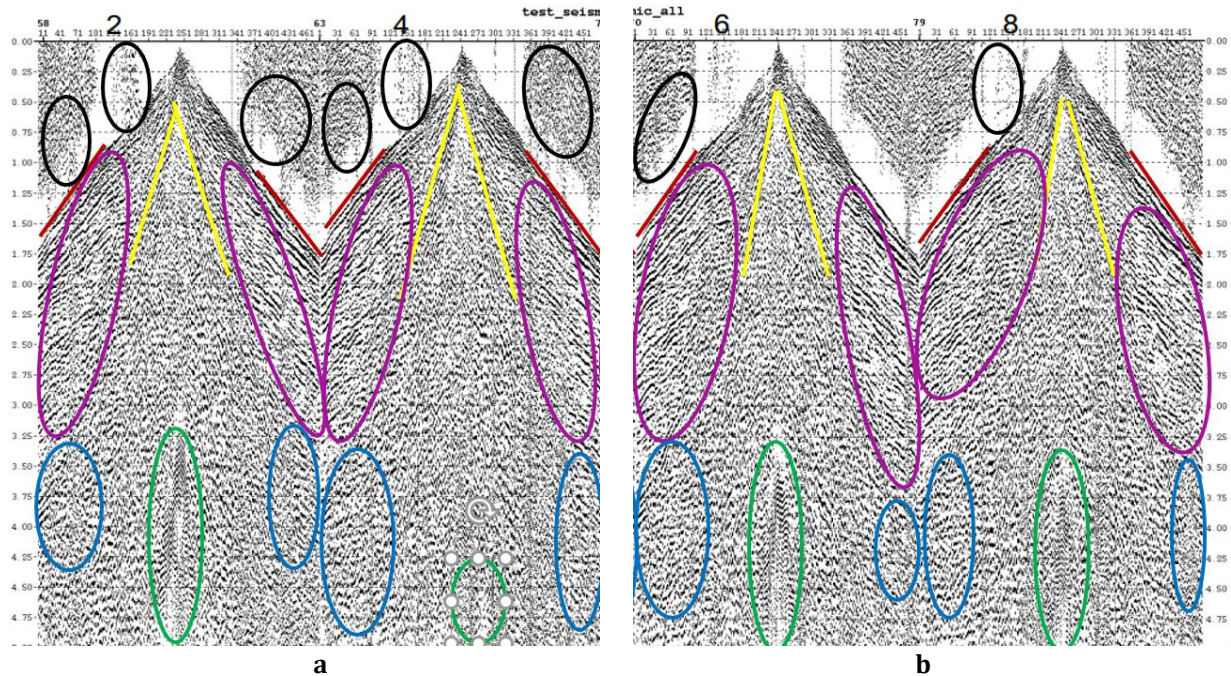
Bu çalışmada, vibrosismik yöntem kullanılarak, en uygun sweep parametrelerini tespit etmek için yukarıdaki formasyonların önemli bir kısmı üzerinde (bazaltlar hariç) bir test çalışması yürütülmüş ve bunun sonucunda GDA genelinde kullanılacak parametreler belirlenmiştir. Bunun için öncelikle frekans bant aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Başlangıçta, 16 sn sweep uzunluğu ve her bir atış noktasında 4 adet doğrusal, artan sweep yapılması kabul edilerek farklı frekans aralığında, farklı sismik kayıt örnekleri alınmıştır. Test edilen frekans bant aralıkları şöyledir: 6-72, 7-77, 8-80 ve 8-120 Hz. Aynı noktada alınan ve bu farklı frekans aralıkları için tarama yapılan kayıtlar yan yana konularak karşılaştırma yapmak daha kolay ve doğru bir yöntem olacaktır. Bu kayıtlar Şekil-2'de gösterilmektedir.

Şekil-2 incelendiğinde siyah renk ile gösterilen yerlerde çevresel gürültüler gözlenmektedir. Tüm frekans aralıklarında çevresel gürültüler kısmen baskılanmıştır. Kırmızı renk ile işaretlenmiş olan yerler, ilk varış sinyallerini göstermektedir. İlk varış süreleri hemen hemen tüm frekans aralığında aynıdır. Mor renk ile gösterilen alanlar ise yansımaları göstermektedir ve mavi renk ile belirlenmiş alanlar derin yansımaların olduğu kesimlerdir. 6-72 Hz, lineer, 16 sn ve 4 sweep parametreleriyle alınan sismik kayıt incelendiğinde yansımaların 4.5 sn seviyelerine kadar belirgin olduğu görülmektedir. Çevresel gürültüler bastırılmış, veri bozulmamıştır. Hava dalgaları (Air blast) 3.5 sn civarlarında gözlenmektedir. Yüzey dalgaları (Ground roll) ve ilk varış (first break) süreleri belirgin olmakla birlikte genel itibarıyla düzgün bir sismik kesittir. 7-77 Hz, lineer, 16 sn, 4 sweep parametrelerine sahip sismik kayıt incelendiğinde gürültülerin fazla olduğu, fakat sweep sırasında bastırıldığı görülmektedir. Derinlerde yansımalar net şekilde görülmektedir. Ground roll belirgin olmakla birlikte buna karşılık yansımalar ise bozulmamıştır. 4.5 sn seviyelerinde bozulmalar görülmekte olsa da genel olarak iyi bir kayıt örneğidir. 8-80 Hz, lineer, 16 sn, 4 sweep parametrelerine sahip sismik kayıt incelendiğinde gürültülerin daha belirgin olduğu, gürültünün tam anlamıyla bastırılmadığı görülmektedir. Air blast belirgin ve veri üzerinde bozucu etkisi görülmektedir. Yansımalar ve ilk varış belirgindir. Genel hatlarıyla iyi bir kayıt örneğidir. 8-120 Hz, lineer, 16 sn, 4 sweep parametrelerine sahip sismik kayıta yansımalar belirgin olmasına rağmen air blast 2.25 sn civarlarında gözlemlenmektedir. Derinlerde yansımalar bozulmakta, ground roll belirginliğini kaybetmektedir. 3 sn civarlarına kadar yansımalar belirgin fakat derinlerde bozulmalar gözlemlenmektedir. Özetle; tüm kayıtlarda derin yansımalar mevcuttur. Sarı renkli çizgilerin arasında kalan yüzey dalgaları, 8-120 Hz frekans aralığı olarak belirlenen kayıt hariç diğer frekans aralıklarındaki kesitlerde belirgindir. Yeşil renk ile gösterilen ve hava dalgasının (air-blast) temsil edildiği kesimlerde, özellikle 8-120 Hz frekans aralığındaki sismik kayıta bozucu etkisi görülmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında 6-72 Hz frekans aralığında seçilen sismik kayıt, maliyet ve veri işlem aşamaları düşünüldüğünde tercih edilebilir bir aralık olacaktır.



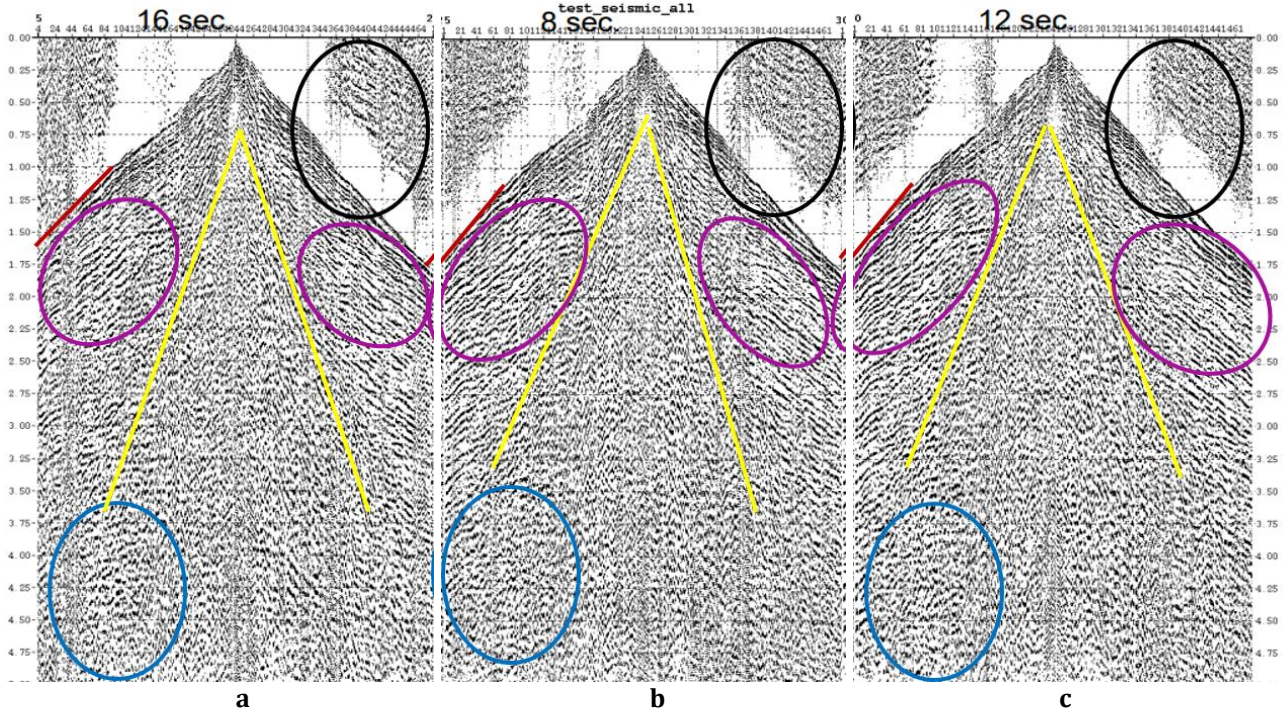
Şekil 2. a) 6-72 ve 7-77, **b)** 8-80 ve 8-120 Hz frekans aralıklarındaki lineer, 16 sn uzunluğunda ve 4 adet up-sweep tarama yapılarak kayıt edilen atışlar (Linear, 16-s long shot gathers in the frequency ranges of **a)** 6-72 and 7-77, **b)** 8-80 and 8-120 Hz, recorded by 4 sweeps.

Sweep parametre seçiminde önemli olan bir diğer konu da sweep sayısıdır. Sweep sayısı yer içerisine gönderilen enerjinin miktarını arttırmak için oldukça önemlidir. Şekil 3' de, bir önceki test sonucu elde edilmiş olan en iyi frekans aralığı 6-72 Hz ile alınan kayıtlar verilmiştir. Bu kayıtlarda, 12 sn kayıt uzunluğu standart kabul edilmiş ve aynı atış noktasında sırasıyla 2, 4, 6 ve 8 adet sweep yapılarak kayıt alınmıştır. Şekil incelendiğinde burada da siyah renk ile gösterilen yerlerde çevresel gürültüler gözlenmektedir. Özellikle 2 adet sweep ile alınan kayıt haricindeki bütün çoklu sweep sayılarında, gürültüler baskılanmış olup 2 sweep ile alınan kaydın başarısız olduğu söylenebilir. Bu şekilde de kırmızı renk ile işaretlenmiş olan yerler ilk varış (first break) sinyallerini göstermektedir. İlk varış süreleri tüm sweep sayıları için yaklaşık aynıdır. Mor renk ile gösterilen alanlar ise yansımaları göstermektedir. Aynı noktada 4 sweep tarama ile alınan kayıt ve sonraki kayıtlarda yansımaların daha derinlere indiği ve daha net olduğu görülmektedir. Yine mavi renk ile belirlenmiş alanlar derin yansımaları göstermektedir. Sweep sayısını arttırmak derinlerden veri alma olanağı sağlamakla birlikte, topoğrafya ve zemine bağlı olarak bu durum değişkenlik gösterebilir. Öyle ki 8 adet sweep ile yapılan çalışmaya bakılırsa, derinlerde yansımaların bozulduğu sanki bir gürültü kaynağı varmış gibi reaksiyonu verdiği söylenebilir. Sweep sayısını arttırmak, yer içine gönderilen enerjiyi arttırmak anlamına gelir ki bu durum uzak ofsetlerden veri alımını kolaylaştırır. Sarı renkli çizgilerin arasında kalan aralıklar ise yüzey dalgalarıdır (ground roll) ve tüm sweep sayılarında belirgindir. Yeşil renk ile sınırlanan alanlar yine hava dalgasını (air-blast) temsil etmektedir. Özellikle 4 sweep ile yapılan çalışmada air blast 4.25 sn civarlarında (çok daha derinlerde) ve çok daha az belirgin olarak gözlemlenmektedir. Diğer kayıtlarda ise air-blast çok bariz ve baskın bir gürültü şeklinde kendini göstermektedir. Sweep sayısı sismik çalışmalarda hem maliyeti artıran, hem de zaman kaybı oluşturan nedenlerden biridir. Bir atış noktası için 4 sweep parametresinde yapılan çalışma ile 6 veya 8 sweep parametresinde yapılan çalışmanın maliyeti ve bir atış için geçen sürenin sweep sayısı ile doğru orantılı olarak artması bu tür çalışmalarda istenilen bir durum değildir. Veri işlem aşamaları, maliyet ve zaman parametreleri de göz önüne alındığında bu test çalışmasında makul olan parametrelerin 6-72 Hz frekans bandına sahip, lineer up-sweep kullanımı ile aynı noktada 4 adet sweep yapılmasının uygun olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 3. 6-72 Hz frekans aralığında, lineer, 12 sn uzunluğunda, ve aynı atış noktasında **a)** 2 ve 4, **b)** 6 ve 8 adet up-sweep yapılarak alınan atışlar (Shot gathers in the frequency range of 6-72 Hz, linear, 12 s long, and taken by **a)** 2 and 4, **b)** 6 and 8 sweeps at the same shot point).

Sismik yorumcular, parametreye karar verirken sweep uzunluklarının çevresel gürültüleri bastırıp bastırmadığına, yansımaların ilk varışlarının belirginliğine, hedef seviyede belirgin yansımaların olup olmadığına ve maliyet parametrelerini düşünerek karar verirler. Bir sonraki adımda, belirlenmiş olan başlangıç ve bitiş frekansları (6-72 Hz) ile sweep sayıları aynı tutulmuş (her bir atış noktasında 4 sweep), fakat sweep uzunluğu farklı olan test atışları yapılmıştır. Böylelikle en uygun sweep uzunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4' te 6-72 Hz frekans aralığında, 4 adet, lineer, up-sweep ve 8, 12 ve 16 sn uzunluğundaki kayıtlar yine yan yana konularak korelasyon yapılmıştır.



Şekil 4. 6-72 Hz frekans aralığında, lineer, 4 adet up-sweep tarama yapılarak kayıtları kaydedilen **a)** 8, **b)** 12 ve **c)** 16 sn uzunluklarındaki atışlar (Shot gathers with lengths of **a)** 8, **b)** 12 and **c)** 16 seconds recorded by making 4 linear up-sweeps in the frequency range of 6-72 Hz).

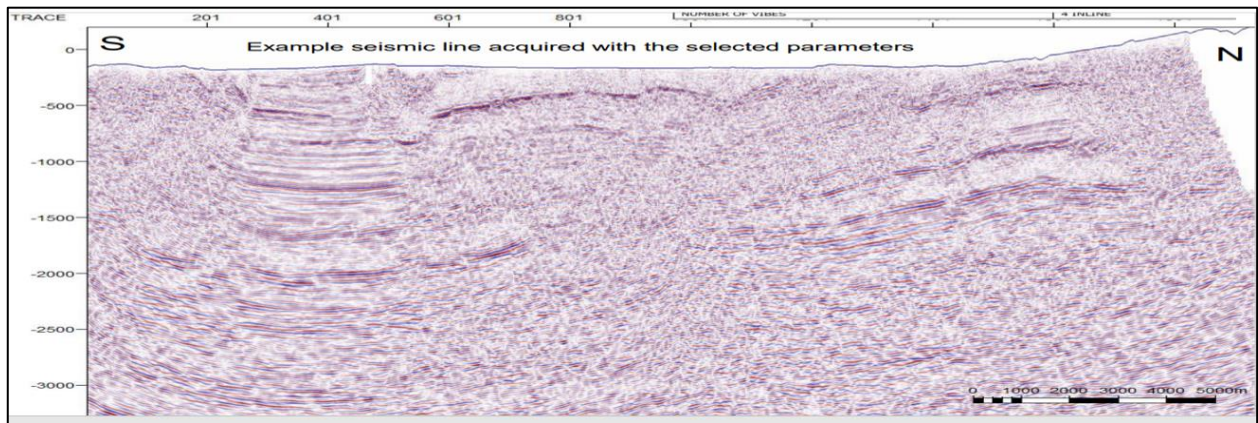
Bu şekilde de (Şekil 4) siyah renk ile gösterilen yerlerde çevresel gürültüler gözlenmektedir. Şekil dikkatle incelendiğinde, 8 sn uzunluğundaki sweep' in çevresel gürültüleri bastıramadığı, yansımaların ise derinlerde sönümlendiği gözlemlenmektedir. 12 sn uzunluğundaki kayıta ise gürültüler baskılanmış, derinlerden yansıma daha net alınmış ve ilk varış süreleri ise daha belirgin olarak gözlenmiştir. Fakat 16 sn uzunluğundaki kesitte ise gürültüler tamamen baskılanmış, ilk varışlar daha net ve daha derinlerden daha iyi veri alındığı görülmektedir. Yine daha detay verilecek olursa, kırmızı renk ile işaretlenmiş ilk varış sinyalleri ele alındığında; 16 sn uzunluğundaki kayıta ilk varış zamanlarının 1.5 saniyelere yaklaştığı çok net şekilde görülmektedir. Sweep uzunluğu 8 saniye olan kayıta ise bu sürenin 1.75 saniyeler civarında olduğu görülmektedir. Mor renk ile gösterilen alanlar ise yansımaları göstermektedir ve 16 sn sweep uzunluğu sismik veride yansımaların daha derinlere indiği ve daha net olduğu fark edilmektedir. Mavi renk ile belirlenmiş alanlara dikkatle bakıldığında, diğer kayıt uzunluklarında derin yansımalar için gözlenen flu görüntüler, 16 sn sweep uzunluğu olan kayıta yerini daha net bir görüntüye bırakmıştır. Sarı renk ile belirlenen aralıklar ise yüzey dalgalarının olduğu aralıklardır ve 16 sn sweep uzunluğundaki kayıta yansımaları bozmamıştır. Bu durumlar göz önüne alındığında 16 sn sweep uzunluğunun tercih edilmesi en sağlıklı seçenek olacaktır.

GDA'da bu örnek parametre test çalışması yapılırken frekans aralığı, sweep sayısı ve sweep uzunluğu değerleri test edilmiş, diğer tüm parametreler aynı tutulmuştur. Bunlar; vibro sayısı, taper süresi, sweep yönü ve vibratör gücüdür. Parametre test çalışmasında kullanılan ve sonunda belirlenen parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Güneydoğu Anadolu (GDA) bölgesinde yapılan test çalışması neticesinde tespit edilen ve Tablo-1' de verilen parametreler sadece tek bir formasyon üzerinde değil, farklı litolojik özelliklere sahip formasyonlar üzerinde de denenerek bulunan en uygun parametrelerdir. Bu parametreler kullanılarak elde edilen iki-boyutlu (2-D) bir sismik kesit Şekil 5' de gösterilmiştir.

Tablo 1. GDA'da yürütülen sweep parametre test çalışması neticesinde belirlenen ve kullanılan parametreler (Parameters determined and used as a result of the sweep parameter test study in SE-Anatolia).

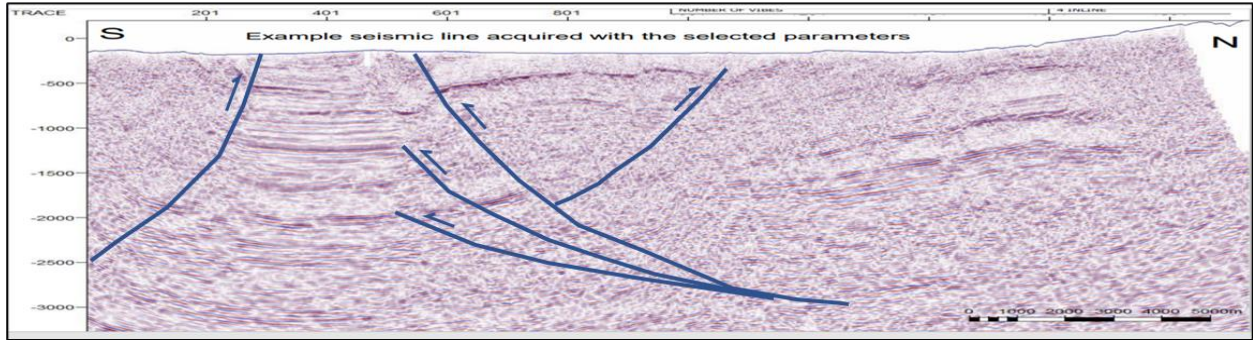
ALICI GEOMETRİSİ	
ATIŞ NOKTA ARALIĞI	25 M
ALICI NOKTA ARALIĞI	25 M
AKTİF SPREAD (SERİM)	480 KANAL (SİMETRİK)
JEOFON SAYISI	2 STRING (12 JEOFON)
JEOFON ARALIĞI	2.08 M
VİBRATÖR DİZİSİ ARALIĞI	12.5
MİN. OFSET / MAKS. OFSET	37.5 M / 6012.5 M
KATLAMA SAYISI (FOLD)	240
SWEEP PARAMETRELERİ	
SWEEP UZUNLUĞU	16 SN
KAYIT UZUNLUĞU	5 SN
ÖRNEKLEME ARALIĞI	2 MSN
DÜŞÜK KESME FİLTRESİ	OUT
YÜKSEK KESME FİLTRESİ	200 Hz, % 80 Nyquist
SWEEP SAYISI	4
BAŞLANGIÇ FREKANSI	6 Hz
BİTİŞ FREKANSI	72 Hz
SWEEP TÜRÜ	LİNEER
TAPER	250 MSN
VİBRATÖR SAYISI	4

**Şekil 5.** Güneydoğu Anadolu bölgesinde yapılmış olan test çalışması neticesinde elde edilen sismik kesit (Seismic section obtained as a result of the sweep test results in SE Anatolia).

Şekil 6'da, bu kesitin üzerine, yüzeyde yer alan ve farklı litolojilere sahip formasyonların sınırları işlenmiştir. Özellikle litolojik farklılıkların belirtilmesinin sebebi ise bu litolojilerin sismik kalite üzerine etkilerini daha net olarak göstermektir. Bir diğer sebep ise sismik kaliteyi çok bozan birimlerde (örneğin karbonatlarda) ve tektonizma açısından oldukça kırıklı ve sismik enerjinin, dolayısıyla yansımaların bolca saçılım gösterdiği (dispersive) ortamlarda dahi seçilen parametrelerle yorumlanabilir nitelikte bir kalite elde edilebileceğini

göstermektedir. Kesitin güneyinde, jips-şeyl ağırlıklı bir litolojiye sahip formasyon üzerinden başlayarak kuzeye doğru önce klastiklerin baskın olduğu, daha sonra ise karbonatlar ile tanımlanan formasyonlara geçildiği gözlenmektedir. Buna göre, jipsli birimlerde (Germik Formasyonu) sismik kalitenin çok bozulduğu aşıkardır. Bunun hemen önünde, kuzeye doğru yer alan ve Güneydoğu Anadolu' da en iyi sismik kaliteyi veren Şelmo Formasyonu üzerinde beklendiği üzere çok iyi bir sismik kalite artışı gözlenmektedir (Aydemir vd., 2006).

Jips-Şeyl-Anhidrit Genç kırıntılılar Bindirme zonu - yaşlı kırıntılılar Karbonatlar – Muhtelif yaşlardaki kireçtaşları



Şekil 6. Atış parametrelerini belirlemek üzere yapılan sweep test çalışması sonucu elde edilen sismik kesitin (Şekil 5) yorumlanmış gösterimi (Interpreted seismic section (Figure 5) obtained as a result of the sweep test results in SE Anatolia).

Şekil 6' da, sismik kesit üzerine tektonik yapıyı gösterir bir yorumlama yapılmıştır. Buna göre Güneydoğu Anadolu' da görülen ve kuzeyden güneye bir tektonik bindirmenin ana unsurları ile bu bindirmenin üzerinde yer alan, kuzeye doğru geri bindirme (back-thrust) fayları çizilmiştir. Kesitin en güneyinde ise bindirme önü back-thrust' a tam olarak dönüşmemiş ters fay görülmektedir. Her ikisinin arasında Şelmo Formasyonu' nun yer aldığı üçgen zon (triangle zone) çok net görülmektedir. Güneydeki jips-anhidrit ve şeyl litolojisi ile yüzeyde temsil edilen birim (Germik Formasyonu), bu back-thrust ile güneyden kuzeye doğru Şelmo Formasyonu üzerine itilmiştir. Back-thrust' ın hemen altındaki iyi kalite ile ifadesini bulan alanın derinlerde güneye doğru genişlemesi bu sebepten dolayıdır. Buna karşılık, kuzeydeki asıl bindirme yapısının üzerinde yer alan ve çakıltası-kumtaşı-marn ardalanması ile karakterize olan Gercüş Formasyonu da Şelmo Formasyonu üzerine itilerek bindirmiştir. Bu formasyon da ağırlıklı olarak klastiklerden meydana gelmesine rağmen, Şelmo Formasyonu' na nazaran çok daha heterojen bir litolojiye sahip olması nedeniyle sismik kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Buna ek olarak, bu yorumda sadece ana tektonik unsurlar işlenmiştir. Ancak Gercüş Formasyonu' nun olduğu alanda üstüne bir de çok yoğun tektonizma gelişmiştir. Hatta Gercüş Formasyonu' nun, ana bindirmenin üzerinde tıpkı sörf yapar gibi çok daha genç olan Şelmo üzerine bindirmesi, sismik kalite açısından neredeyse en kuzeydeki karbonatlar kadar, hatta onlardan da kötü bir sismik görüntü kalitesi üretmesini de beraberinde getirmiştir. Dahası, bu kötü sismik kalite üzerinde, tektonik zonda Gercüş Formasyonu' nun tek başına değil, karbonat nitelikli Hoya ve Fırat Formasyonları ile karışık bir biçimde itilmiş olması görüntü kalitesini beklenenden daha kötü hale getirmiştir. Kesitin kuzey kesimlerinin tektonik açıdan daha sade bir alana karşılık gelmesi sebebiyle, her ne kadar yüzeyde karbonat litolojisi baskın birimler olsa da (ki bu karbonatlar da kötü sismik görüntü üretirler), tektonik bindirme zonuna göre nispeten biraz daha düzelmiş bir görüntü sunmaktadırlar.

6. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Petrol ve doğalgaz araştırmalarında sismik yansıma yöntemi tüm dünyada vazgeçilmez ve en önemli jeofizik arama yöntemidir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu önemli yöntemin kaynak kullanımında dinamit yerine vibrosismik kaynağının keşfi, çalışmaların daha ekonomik olmasını, operasyon kolaylığını, çevreye en az zarar ve rehabilitasyon anlamındaki avantajlarını ve kontrol edilebilir olmasıyla elde edilen sonuçların başarılarını bambaşka bir seviyeye ulaştırmıştır.

Kara sismik araştırmalarında, deniz sismiği çalışmalarından farklı olarak sismik kalitenin elde edilmesi çok fazla parametreye bağlı olduğundan kontrollü bir kaynak olması nedeniyle vibrosismik yöntemini teknik anlamda da çok önemli bir yere taşımaktadır. Çalışılan bölgelerdeki yüzey jeolojisi, elde edilmek istenilen sismik kesitin temsil edeceği jeolojinin stratigrafik ve tektonik yapısı, hedeflenen derinlik, görüntülenmek istenilen tabaka kalınlıkları, sismik çalışmalarda uygulama ve netice açısından çok büyük önem arz etmektedir.

Vibrosismik yöntemde yer içerisine gönderilen enerjinin büyüklüğü, kaynağın frekans aralığı ve genliği gibi sinyalin kontrol edilebilir özellikleri sayesinde; bölgesel gürültüler, yüzey dalgaları ve bunun gibi sinyal/gürültü oranını olumsuz etkileyen öğelerin de testlerle gözlemlenerek sahaya uygun şekilde belirlenmesiyle kalitenin önemli ölçüde artırılması sağlanabilmektedir. Bahsedilen tüm bu konuların önemi ve vibrosismik yöntemin

avantajları değerlendirildiğinde, bu çalışmada vibrosismik kaynak kullanımı ve sweep sinyali parametre seçimi ile yüzey jeolojisi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi konuları detaylı olarak incelenmiştir. Veri toplama öncesi testler için önemli ölçüde bütçe ve zaman ayrılması sırasıyla; kalitenin artmasını, artan kalite ile sismik kesitlerin daha iyi ve doğru yorumlanmasını, petrol ve doğalgaz hedeflerinin daha doğru bir şekilde tespit edilmesini, bu olumlu sonuçların çalışanlar ve ülke açısından ekonomik anlamda çok büyük artı değerler sağlanmasını da beraberinde getirmektedir.

Yüzey koşulları, yoğun tektonizma ve mostra veren formasyonlar ele alındığında iyi kaliteli sismik veri elde edilmesi oldukça zor olan Güneydoğu Anadolu bölgesi, ironik bir şekilde ülkemizin petrol üreten tek bölgesidir. Bu sebeple sismik veri kalitesini artırmak, doğrudan petrol arama çalışmalarını, dolayısıyla da ülke ekonomisini etkileyen bir süreçtir. Bu sürece olumlu katkılar sağlamak, bu alanda gelecek zaman dilimlerinde yapılacak sismik çalışmalara yön göstermek, işleri kolaylaştırmak ve zaman kayıplarını en aza indirmek, buna karşılık yeni petrol yataklarının tespiti için doğru ve en optimal parametrelerin belirlenmesi amacıyla GDA'da yapılan bu vibrosismik çalışmada, sweep sinyal parametrelerinin belirlenmesi adına öncelikle parametre test atışları yapılmıştır. Farklı frekans aralıklarında, farklı sweep sayılarında ve farklı kayıt uzunluklarında birçok test atışı yapılmıştır. Amaç, jeolojik formasyonlar ve çalışmanın hedefine en uygun parametrelerin belirlenmesi olmuştur. Seçilen tüm parametreler için hakim jeoloji, çalışmanın amacı ve maliyet durumu göz önüne alınarak karar verilmiştir. Özellikle sweep uzunluğu ve sweep sayısı maliyeti artırıcı parametrelerin başında gelmektedir.

Bu çalışmanın önemli amaçlarından birisi de Güneydoğu Anadolu' da yapılan ve yapılacak olan vibrosismik çalışmalarda veri kalitesini etkileyen jeolojik formasyonların veri üzerindeki etkileri hakkında bilgi vermek olmuştur. Bundan dolayı test çalışması, tek bir formasyon üzerinde değil, GDA genelinde yüzeyde en çok mostra veren birimlerin neredeyse tümünün bir arada olduğu bir bölgede yürütülmüştür. Çalışmamızın sonucunda tespit edilen en uygun parametreler Tablo-1'de verilmiştir. Bu parametrelerin tespitinden sonra bunlarla toplanan veriler kullanılarak elde edilen iki-boyutlu bir sismik kesit (Şekil 5), örnek olarak ve parametrelerin doğruluğunu ispat için bu çalışmada verilmiştir. İlgili sismik kesit üzerinde yer yer sismik kalitenin göreceli olarak kötü kaliteye sahip olmasına rağmen yine de Güneydoğu Anadolu' da geçmiş yıllarda toplanan sismik verilerle karşılaştırıldığında adeta yan yana bile getirilmeyecek kadar iyi ve yorumlanabilir bir sismik görüntü kalitesi sunması sebebiyle seçilen parametrelerin ne kadar doğru olduğu ortaya çıkmıştır. Zira, geçmiş yıllarda Güneydoğu Anadolu' da toplanan sismik verilerden elde edilen kesitler neredeyse hiç yorumlanamayacak düzeydedirler. Bu çalışmayla önerilerin parametrelerin kullanılmasıyla yürütülecek vibrosismik çalışmalar neticesinde iyi kalitede sismik veriler toplanacak, bu verilerin yorumlanmasıyla yeni petrol rezerv sahaları bulunacak, yeni sondaj noktaları önerilebilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmada kullanılan veriler N.V. Turkse Perenco şirketinden temin edilmiştir. Verilerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen ve parametre seçimlerinde geniş tecrübelerinden yararlandığımız Arama Müdürü, Sayın Şule Yılmaz ve Sayın İştah İşler'e teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

Bu makaleye kaynak olan ve yazarlardan Türker Karakaş'ın tez çalışması aşamasında çalışma ve zaman desteği sağlayan Turkish Petroleum International Corporation (TPIC) Genel Müdürlüğü'ne, başta Genel Müdür Sayın Halim ÇAKMAK ve ilgili tüm amirlere sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Bu yayın, Türker Karakaş'ın Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Ana Bilim Dalı bünyesinde yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmından yararlanılarak hazırlanmıştır. Çalışmamızın yayın sürecinde emeklerinden dolayı alan editörüne ve yapıcı eleştiri-kritik ve önerileriyle katkı sağlayan iki anonim hakeme özel olarak teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Anstey, N.A., 1991. Vibroseis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
 Aydemir, A., Bahtiyar, I., Korpe, L., Soyhan, O., 2006. Petroleum generation potential of the Karabogaz Formation in Kahta Depression, Adiyaman, Southeastern Anatolia. TAPG Bull., 18, 1-15.
 Baeten, G., Ziolkowski, A., 1990. The Vibroseis Source. Elsevier Sci. Publ. Co. Inc., Amsterdam.

- Başar, H.S., 2007. Vibrosismik yöntem ve yüksek güvenilirlikli, ayrımlılıklı vibrosismik veri toplama. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, Ankara.
- Belcher, S.W., Prat, T.L., Costain, J.K., Coruh, C., 1986. Alternative processing techniques and data improvement provided by single-sweep recording. *Geophysics*, 51, 1736-1742.
- Costain, J.K., Çoruh, C., 1989. Tectonic Setting of Triassic Half-Grabens in the Appalachians: Seismic Data Acquisition, Processing, and Results. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (Eds.) *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*. AAPG Memoir, 46. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Crawford, J.M., Doty, W.E.N., Lee, M.R., 1960. Continuous signal seismograph. *Geophysics*, 25, 95-105.
- Domoracki, W.J., Costain, J.K., Coruh, C., 1989. Processing and interpretation of seismic reflection data near the Bane Dome in Bland County, Virginia. Technical Report, US Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR 5417.
- Evans, B.J., 1997. *A Handbook for Seismic Data Acquisition in Exploration*. Society of Exploration Geophysicists, Geophysical Monograph Series No. 7.
- Geyer R.L. 1989. *Vibroseis*. Geophysics Reprint Series No. 11. SEG
- Gresko, M.J., Costain, J.K., 1985. Compressional (p-wave) and shear (sh-wave) reflection seismic case history over the Bane Dome, Giles County, Virginia. 55th Annual International SEG Meeting. Extended Abstracts, 339-402.
- Gültekin, C., 2010. Yansımali sismikte vibro atış düzeninin ve saha parametrelerinin sismik çözünürlüğe etkisi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Gureli, O., 2021. The effect of sweep signal parameters on correlation wavelet. *Yerbilimleri* 42, 199-231.
- Hubbard, S.S., Coruh, C., Costain, J.K., 1991. Paleozoic and Grenvillian structures in the southern Appalachian, Extended interpretation from seismic reflection data. *Tectonics*, 10, 141-170.
- Karaca, Ş.O., 2015. Jeotermal aramalarda vibrosismik kaynak kullanarak uygun sweep parametrelerinin belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Anabilim Dalı, Adana.
- Karakaş, T., 2024. Petrol aramacılığında vibrosismik kaynak kullanımı ve sweep sinyal parametre seçimi ile yüzey jeolojisi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, Sivas.
- Newman, B.J., 1994. The vibroseis exploration method, a processor's perspective. *The Leading Edge*, 13, 664-668.
- Pritchard, W.C., 1994. Why waste money with linear sweeps? *The Leading Edge*, 13, 943-948.
- Sakallıoğlu, Y., 1992. Vibrosismik tekniğinde sweep sinyali seçimi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, Ankara.
- Sakallıoğlu, Y., Güreli, O., ve Başar, H. S., 2012. Vibrosismik. Altan Özyurt Matbaacılık Ltd. Şti. Ankara, 396 sayfa.
- Scott, S.M., 1987. The processing and extended interpretation of seismic reflection data recorded over the Hayesville-fries thrust sheet in southwestern North Carolina. MSc Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, USA.
- Sercel 408UL traning course manual, 2001. *Vibroseis operations*.
- Sheriff, R.E., 1990. *Encyclopedia dictionary of exploration*. Geophysics Society of Exploration Geophysicists, Houston, TX, USA.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1991. *Applied geophysics*, 2nd edn. Cambridge University Press, New York, USA.
- Toksoy, A.Y., 2019. Diyarbakır sahasında hidrokarbon araştırmasında Üç Boyutlu vibrosismik yöntemi ile veri toplama ve kaynak parametresinin seçimi. Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, Kocaeli.