

# DÜŞEY SİSMİK PROFİLLERİN YÜZEY SİSMİK YANSIMA VERİLERİYLE EŞLEŞTİRİLMESİ İÇİN YÖNTEMLER

## Methodologies to Match Vertical Seismic Profiles with Surface Seismic

MEHMET FERRUH AKALIN(\*)

### ÖZET

Düşey sismik profillemeye, kısaca VSP, son zamanlarda petrol endüstrisi tarafından, kuyuların çevresindeki jeolojinin yüksek rezolüsyonla görüntülenmesi ve kayaçların fiziki özelliklerinin belirlenmesi için geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır.

VSP verisinin yorumlanabilmesi için, arazideki veri toplama prosedürleri ile, veriye uygulanan işlemlerin iyi anlaşılması gereklidir.

Ofset VSP ve eğimli kuyulardaki sismik profillemeye, kısaca DWSP, verileri hem yüzey hem de derinlik olmak üzere iki boyutlu sismik veriye sahiptirler. Derinlik bileşeni aşağı ve yukarı yayılan dalga alanlarının ayrılmasını sağlarken; aşağı yayılan dalgalar da yukarı yayılan dalgalardan katlamalı yansımaların elimine edilmesi için gerekli olan önkestirimli dekonvolüsyon operatörlerinin dizayn edilmesini sağlarlar.

Ofset VSP veya DWSP verilerinden, yüzey sismik kesitleriyle karşılaştırılabilecek bir kesitin üretilmesi, ışın yolu izleme yöntemleriyle VSP verisinden elde edilecek ilk yansımaların sismik kesit formatına konması ile mümkündür. Bunun için kuyunun çevresinde jeolojiyi yansıtan iyi bir hız modeli kurulur. Bu hız modelini kullanan ışın yolu izlemeye dayalı iki yöntem önerilmiştir:

1- Yansımaların direkt olarak haritalanması yöntemi,

2- Model ayarlama yöntemi.

Yansımaların direkt olarak haritalanması yönteminde, VSP'den alınacak yansımaların zamanlarını gerçekleyen noktaların koordinatları model üzerinde bulunur. Model ayarlama yönteminde ise modeldeki arayüzeylerin konumları VSP'deki yansımaların zamanlarından yararlanılarak düzeltilir.

### ABSTRACT

Vertical seismic profiling, shortly VSP, is starting to be widely used by oil industry for high resolution seismic imaging of geology and rock properties in the vicinity of the borehole.

To interpret VSP data it is necessary to be familiar with seismic acquisition procedures and what kind of processing has been applied to data.

Offset VSP and DWSP, Deviated Well Seismic Profiling, data have two spatial components, the depth and the surface component. The depth coverage allows the separation of upcoming and downgoing wavefields; downgoing waves in turn make it possible to separate the primary reflections from the upcoming multiples.

A ray tracing approach is a starting step in the problem of matching offset VSP or DWSP (Deviated Well Seismic Profiling), data with surface seismics. Given a good geologic model and velocity structure in the vicinity of the well; a direct mapping approach of reflections into a migrated seismic section format is possible by locating the reflection point on the model that would satisfy the source and receiver positions and the reflection times picked off the VSP or a model adjustment approach, by which the model at hand is adjusted iteratively such that a reasonably good match is obtained between the reflection times calculated from the model and the reflection times picked off the VSP assuming that velocity structure is constant.

(\*) TPAO Arama Grubu Veri İşlem Müdürlüğü, Ankara

## GİRİŞ

Hidrokarbon yönünden ümitli tortul havzalardaki yapısal ve stratigrafik kapanların keşifleri için elde edilen en etkin yöntem sismik aramadır. İlgilenilen alan ne kadar küçük ise, sismik verisinin ayırtıcılığı o kadar daha yüksek olmalıdır ki, jeolojik yapı, stratigrafi ve muhtemel bir petrol rezervuarının sınırları güvenle belirlenebilsin.

VSP, düşey sismik profillemeye, petrol kuyularında yapıları ve petrol kuyularının çevresinde yüksek ayırtımlı sismik veri elde etmeye elverişli bir yöntemdir. VSP, çok amaçlı bir arama yöntemi olarak, petrol endüstrisi tarafından geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır. VSP'nin aramadaki bazı uygulamaları şöyle sıralanabilir:

1- Üç bağımsız yönde kayıt yapabilen bir kuyu jeofonu kullanılarak, P ve S dalgalarının hızları derinliğin fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Kuyu boyunca delinen kayaçların yoğunluk bilgisiyle, P ve S dalga hızlarından Poisson oranı, kompresibilite, "shear" modülü gibi özellikler hesaplanabilir. Bu özelliklerden de dolaylı olarak porosite, saturasyon gibi önemli veriler elde edilebilir, (Omnes, 1979).

2- Düşey olarak aşağı yayılan dalgacık, derinliğin fonksiyonu olarak gözlenir. Bu dalgacık yüzey sismik yansıma kesitlerinin veri işleminde uygulanan dekonvolüsyon operatörünün dizaynında kullanılır. Katlamalı yansımalar neden olan ara yüzeyler belirlenir ve bu katlamalı yansımaların yüzey sismiğinden ayıklanabilmesi için ön kestirimli dekonvolüsyon operatörleri dizayn edilebilir, (Kennett ve arkadaşları, 1980; Lee ve arkadaşları, 1983).

3- Bir hedef seviyenin, örneğin gözenekli bir zonun, sismik yöntemle gözlenip gözlenemeyeceği; böyle bir zondan gelebilecek yansımaların özel ve değişik bir karakterinin olup olmadığı sınırlanabilir. (Balch ve arkadaşları, 1982).

4- Yüksek ayırtımlı sismik veri elde edilir:

a) Özellikle yüksek frekansları filtreleyici etki yapan yüzeydeki "düşük hız zonundan" sismik dalgacığın bir kez geçmesi,

b) Atış noktasından, kuyu jeofonuna olan yansıma yollarının, normal yüzey sismiğinde görülen yansıma yollarından daha kısa oluşu, gibi avantajlarla yüzey yansıma sismiğine nazaran daha iyi ayırtımlı yansıma verisinin elde edilmesini, böylece küçük atımlı fayların, kamalanmaların izlenmesini sağlar (Wyatt ve arkadaşları, 1982).

5- Yüzey yansıma sismiğiyle, kuyu logları arasında, kayaçların fiziki özelliklerinin korelasyonu yönünden bir direkt bağ oluşturur.

Dik veya dike yakın kuyularda yapılan VSP ile yaklaşık olarak tek boyutlu sismik veri elde edilirken, ofset-VSP ve eğimli kuyularda yapılan düşey sismik profillemeye DWSP ile hem düşey hem de yatay yönlerde olmak üzere iki boyutlu sismik veri elde edilir. DWSP ve ofset VSP verisinin yüzey sismik formatına konulması pratik bir problemdir. DWSP'den elde edilecek kesitten yüzey sismik kesitine nazaran daha detaylı jeolojik yorum yapılabilir (Dillon ve arkadaşları, 1983).

Sismik verinin jeolojik olarak yorumlanabilmesi için, verinin arazide toplanması ve veri-işlem merkezinde işlenmesi sırasında hangi işlemlerden geçtiğinin ve bu işlemlerin veri üzerinde ne gibi değişiklikler yapabileceğinin bilinmesi gereklidir.

Bu makalede, VSP metodunu genel olarak kısaca, arazi operasyonu ve veri-işlem açılarından gözden geçirdikten sonra, DWSP ve ofset VSP verisinin yüzey sismiği formatına konulması için, ışın izleme yöntemine bağlı iki genel yön-

tem sunulacaktır.

## VSP VERİSİNİN TOPLANMASI

Şu anda kullanılmakta olan VSP veri toplama araçları, bir yüzey sismik enerji kaynağı, üç yönlü kuyu jeofonu ve bir de kayıt gerecinden oluşmaktadır (Şekil 1). Kuyu jeofonu, VSP toplanması istenilen derinlik aralığının en derin seviyesine indirilir ve sonra her biri 20-70 m. aralıklarda olan seviyelerde dura dura yukarıya çekilir. Her bir seviye için, yüzeydeki sismik enerji kaynağı birkaç defa ateşlenir. Kuyu jeofonunun tutturulduğu kayacın titreşimleri üç bağımsız yönde sayısal olarak kayıt edilir.

Kuyu jeofonu, yüksek basınç (1400 bar) ve ısıda (200-250°C), sismik titreşimlerin analog sinyallerini üretebilmelidir. Kuyu jeofonunun, kuyunun çeperiyle olan fiziki bağlantısının iyi olması, kaydedilen sinyallerin kalitesi açısından çok önemlidir. Bundan dolayı, kuyu jeofonu zor şartlarda görev yapabilecek olacak sağlam bir kilitlenme mekanizmasıyla teçhiz edilmelidir. Kayıt sistemi geniş frekans bandlı (5-100 Hz.) ve dinamik aralıklı (100 dB) olmalıdır (Garriott, Balch ve arkadaşları, 1982).

VSP veri toplamada kullanılacak enerji kaynaklarında aranılacak vasıflar:

- 1- Kaynak dalgacığının yüksek enerjili,
- 2- Geniş frekans spektrumlu,
- 3- Kaynak dalgacığının tekrarlanabilirliği,
- 4- Ofset VSP için kaynak aracının bir noktadan diğerine çabuk hareket edebilmesi şeklinde sıralanabilir.

VSP verisinin toplanmasında karşılaşılan başlıca iki büyük sorun vardır; birincisi, jeofonla kuyu çeperleri arasındaki bağlantı, ikincisi, kuyu çeperi boyunca yayılan tüp dalgaları (Hardage, 1981). Kuyunun çeperinde bulunan "invasion zone"u (işgal edilmiş zon), kuyuyla jeofon arasında sağlam bir bağlantının kurulmasını zorlaştırır. Jeofon kuyu çeperi boyunca aşağı doğru kayar. Bu hem yüksek frekanslı gürültü oluşturur, Şekil 2a'da görüldüğü gibi, hem de yapılan ölçümlere hata katar. Sadece P, SV ve Rayleigh dalgalarının kuyunun çeperiyle ilişkilerinden, tüp dalgaları kuyu boyunca aşağı-yukarı yayılmaya başlarlar. Şekil 2b'de görüldüğü gibi tüp dalgaları normal yansıma sinyallerine nazaran daha büyük genlikli olduklarından onları örterler. Buna rağmen tüp dalgalarının hızlarından yararlanarak, kuyunun çeperi boyunca bulunan kayaçların "shear" modülleri hesaplanabilir (White, 1965).

## VSP VERİSİNİN İŞLENMESİ

VSP verisinin işlenmesindeki özel amaçlar, P ve S dalgalarının hızlarını ve kayaçların fiziki parametrelerini hesaplamak, ilk yansımaları diğer katlamalı yansıma ve istenmeyen olaylardan arındırarak bir sismik kesit elde etmek gibi değişiklik olabilir. Ofset VSP veya eğimli kuyu düşey sismik profillerinden, kuyunun çevresindeki migrasyonlu sismik kesitlere doğrudan doğruya karşılaştırılabilecek bir sismik kesit elde etmek için takip edilebilecek veri-işlem akış diagramı Şekil 3'te verilmiştir.

Üç bağımsız yönde kayıt yapabilen üç kanallı bir kuyu jeofonuyla, her bir derinlik seviyesi için belli sayıda atıştan kaynaklanan sismik dalgalar zaman ve derinliğin fonksiyonu olarak kaydedilir. Gürültülü izler ayıklandıktan ve gerekli genlik düzeltmeleri uygulandıktan sonra, her seviyede bağımsız bir yönde kaydedilen izler birleştirilerek her seviye

için üç ayrı bağımsız yöne karşılık gelen üç iz elde edilir.

VSP verisinden sismik kesit elde etmek için de yukarı yayılan dalgaları, aşağı doğru yayılan dalgalardan ayırma-mamız gerekir. Şekil 4'te tipik VSP verisi ayıklanma ve birleş-tirme safhasından sonra gösterilmektedir. Buradaki negatif ve pozitif eğimli olaylar aşağı ve yukarı yayılırken kaydedi-len olaylardır. Aşağı ve yukarı yayılan dalgaların eğimleri-nin farklı oluşlarından faydalanarak, Fourier ortamında ( $\omega$ ,  $k$ ) veya zaman-derinlik ( $t, z$ ) ortamında düzenlenebilecek hız filtreleri sayesinde, yukarı yayılan dalgalar ayırılabilir (Seeman ve arkadaşları,1983; Lee ve arkadaşları,1983; Hale ve Claerbout, 1983).

Aşağı ve yukarı yayılan dalga alanları, hem P hem de S dalgalarını içermektedir. P dalgalarının S dalgalarından kıs-men ayrırılması, P ve S dalgalarının partikülleri değişik yön-lerde hareketlendirdikleri gerçeğinden faydalanarak müm-kündür. Şekil 5a'da, atış noktasına göre x, y ve z yönlerinde (y sayfanın içine doğru) kayıt eden kuyu jeofonun konumu ve direkt olarak gelen P ve S dalgalarının yaklaşık olarak ort-ak olan ışın yolu görülmektedir. Bilindiği gibi P dalgası par-tikülleri yayılma yönünde hareketlendirirken, SV dalgası partikülleri yayılma yönüne dik yönde fakat sayfa düzlemi içerisinde, SH dalgaları ise yine yayılma yönüne dik, ancak sayfa düzlemine dik yönde hareketlendirir. Yani P ve SV dalgaları şekildeki duruma göre x ve z yönlerinde kayıt edi-lirken, SH y yönünde kaydedilir. Dolayısıyla ortalama bir  $\theta$  açısıyla koordinat transformasyonu yaparak, aşağı yayı-lan dalgaları  $x'$  ve  $z'$  doğrultularında kaydedilmiş gibi bir hale getirdiğimizde P dalgaları  $x'$  yönünün izinde, SV dalga-ları  $z'$  yönünün izinde kuvvetlendirilmiş olarak görülür. SH dalgalarına ise dokunulmaz. Şekil 5b'de yukarı yayılan dal-galara uygulanabilecek koordinat dönüşümü gösterilmiştir. Anlaşılacağı gibi aşağı ve yukarı yayılan dalga alanlarına iki ayrı koordinat dönüşümü filtrisi uygulanmalıdır. Tam anlamıyla P ve SV dalgaları alanlarını ayırmak mümkün değildir. Ancak, P ve SV dalga alanları koordinat dönüşümü uygulan-mış olan çıktılarda kuvvetlendirilmiş olur.

Şekil 6'da aşağı yayılan iki olayın, yukarı yayılan iki olaya dönüştüğü görülmektedir. P ile gösterilen ilk yansıma olayı D direkt dalgasından, M ile gösterilen olay ise D'nin katlamalı yansıması olarak P'ye paralel olan ikinci yansıma olayını meydana getirmektedir. Aşağı yayılan iki olay ara-sındaki zaman gecikmesi  $t_0$ , yukarı yayılan iki olay arasın-daki zaman gecikmesi kadardır. DWSP veya offset VSP ve-risinden elde edilecek kesitte sadece ilk yansımaları (prima-ry reflections) görmek isteriz. Bu da aşağı yayılan dalga ala-nını tek bir direkt geliş olayı haline dönüştürecek dekonvo-lüsyon operatörünü her bir iz için dizayn edip, bu operatörü o izin yukarı yayılan dalga alanına uygulamakla mümkün olur.

### DÜŞEY SİSMİK PROFİLLERİN YÜZEY SİSMİK YANSIMA VERİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Buraya kadar uygulanan işlemlerin neticesinde eldeki VSP, DWSP veya ofset-VSP verisi, sadece ilk yansıyan dal-gaları (P veya S) içerir hale getirilmiş olur. Daha önce de be-lirtildiği gibi yansımalar tabakaların dalımlarına göre kuyu-nun çevresindeki bir alandan gelmektedirler. Düşey sismik profil verisini, migrasyona uğratılmış sismik kesitle (yani yansımaların iki boyutta mümkün olabildiğince gerçek yan-sıma konularına taşınmış) karşılaştırılması için, VSP veri-sindeki yansımaların da olabildiğince gerçek yansıma ko-

nurlarına taşınmaları ve sismik kesit şeklinde gösterilmeleri gerekmektedir.

Sismik kesit haline dönüştürülebilecek hale gelmiş olan VSP verisi tek bir deneyin sonucu olarak düşünülebilir. Atış noktasındaki patlamadan kaynaklanan sismik dalgalar taba-kaların ara yüzeylerinden yansıyarak yukarıya doğru yayı-lırken kuyu boyunca belli derinlik seviyelerinde sıralanmış olan jeofonlar tarafından kaydedilirler. Problem, yansıma noktalarının iki boyuttaki koordinatlarını, atış noktalarının, jeofonların pozisyonları ve yansıma zamanlarından yararlanarak belirlemektir. Migrasyona uğramış sismik kesit elde etmek için ( $x, z$ ) noktasının z-koordinatı modelden direkt olarak zamana çevrilerek ( $x, t$ ) koordinatı olarak bulunur.

Bu probleme iki çeşit yaklaşım düşünülebilir:

1- Yansımaların direkt olarak haritalanması yaklaşımı: Eldeki kuyu, jeolojik ve jeofiziksel verilerinden bir jeolojik model kurulur. VSP verisinin yansıma zamanlarından ve bu modelden faydalanarak, yansıma noktalarının koordinatla-rı ( $x, z$ ) hesaplanır.

2- Model ayarlama yaklaşımı: Yine bir jeolojik model kurulur. Bu model VSP yansıma zamanlarını doğrulayacak şekilde değişikliğe uğratılır.

### Yansımaların Direkt Olarak Haritalanması

Şekil 7 yatay katmanlardan oluşan bir yeraltı modeli için atış noktasından kuyu jeofonuna gelen bir yansımanın ışın yolunu göstermektedir. Her petrol sahasının kendine has çökeltme ortamı ve uğradığı tektoniğe göre yapısal ve stratigrafik durumu vardır. Dolayısıyla kurulacak modeller hiçbir zaman Şekil 7'deki gibi yatay katmanlardan meydana gelmezler. Ancak sismik veri işleminde her zaman kullanılan bu basitleştirilmiş model, yansımaların direkt olarak haritalanması yöntemini açıklamak için uygundur. Gaye yansıma noktası B'nin ( $x-z$ ) koordinatlarını bulmaktır.

Eldeki veriler:

a) Derinlik - hız modeli,

b) Işının atış noktasından jeofona kadar alacağı toplam yatay mesafe,

$$X_{\text{total}} = g = X_{AB} + X_{BC}$$

$$= \int_0^z \frac{p \vartheta(u) du}{C(u)} + \int_{z_g}^z \frac{p \vartheta(u) du}{C(u)}$$

$$C(u) = (1 - p^2 \vartheta^2(u))^{1/2} \quad (1)$$

c) Toplam yansıma zamanı  $t_{ABC}$ :

$$t_{ABC} = \int_0^z \frac{du}{\vartheta(u)C(u)} + \int_{z_g}^z \frac{du}{\vartheta(u)C(u)} \quad (2)$$

burada p ışın parametresidir. Tabakalı modelde tek bir yan-sımının ışın yolu tabakalar yatay olduğundan tek bir p ile belirlenir. (Kurulan modeldeki tabakaların yatay olmadığı durumlarda arayüzeylerin sabit uzunluktaki yatay çizgiler-den oluştuğu varsayılmıştır.) Yukarıdaki eşitliklerde bi-linmeyen olarak sadece yansıma noktasının z derinliği ve p ışın parametresi bulunmaktadır. z, p çifti bilinmemekle be-raber belli aralıklara sınırlandırılabilirler. Örneğin z, daha önce konumu belirlenen bir evvelki tabakanın minimum de-rinliği ile, modeldeki maksimum derinlik arasında yani z e

$(z_{\min}, z_{\max})$  ve de  $p \in (p_1, p_2)$  dir. Burada

$$p_1 = \sin(\arctan(g/z_g)) / v_0$$

ve

$$p_2 = \sin(\arctan(2z_{\max}/g)) / v(z_g)$$

dir.

Tekrarlamalarla bir  $(z, p)$  çifti, yukarıdaki eşitlikleri sağlayacak şekilde hesaplanabilir. Bunu gerçekleştirecek bir algoritma şöyle olabilir:

Bütün seçilen yansıma zamanları  $(g, z_g, t_{ABC})$  için,

a)  $[z_{\min}, z_{\max}]$  aralığında uygun bir  $z$  değeri seçilir,

b)  $x_{Total} = g$  olacak şekilde bir  $p$  değeri hesaplanır.

c) Bu  $z$  ve  $p$  değerlerinden,  $t'_{ABC}$  bulunur,

d) Eğer  $t_{ABC} - t'_{ABC} = \epsilon$  değeri yeteri kadar küçükse step (e)'ye gidilir, değilse,  $z$  değiştirilerek step (b)'ye gidilir.

e)  $x_{AB}$ , yansıma noktasının  $x$  koordinatı hesaplanır.

f)  $(g, z_g, t_{ABC})$ 'den  $(x, t)$ 'ye haritalama yapılır; yani,  $t$  zamanındaki VSP verisindeki dalgacık, yansıma noktasının  $z$  derinliği  $t$  gidiş-geliş yansıma zamanına dönüştürüldükten sonra  $x$  pozisyonundaki izin üzerine taşınır.

g) VSP'den seçilen yansıma zaman verileri bitmemişse step (a)'ya dönülür.

#### Model Ayarlama Yaklaşımı

Kuyu loglarından, sentetik sismogramla benzeşimi kurulmuş sismik kesitlerden, yüzey jeolojisi verilerinden ve de VSP verisinden faydalanarak, VSP verisinde önemli yansımalar meydana getiren ara tabakaların  $(x, z)$  düzlemindeki konumlarını belirleyerek, Şekil 8'de olduğu gibi, gerçeğe oldukça yakın bir model meydana getirilebilir. Bu jeolojik modelin tabakalarına, sonic log ve VSP'den elde edilecek ara hızları ve sismik kesitin yuvarlanmış yığıma hızlarından hesaplanan ara-hızlarından yararlanarak en anlamlı hız değerleri verilir. Modelin kurulmasında;

1- Modelin ayarlanmasında kullanılan yöntemden tutarı (stable) bir sonuç elde edebilmemiz için VSP'de görülebilecek detayla, modeldeki detayın uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.

2- VSP verisinden seçilen yansımaların sayısı ve modeldeki tabakaların sayısı arasında bire bir eşleşme gözetilmelidir.

Modeldeki bir arayüzeyden gelen yansımaların zamanlarını ışın izleme yöntemi ile hesaplanır. Modelden elde edilen yansıma değerleri  $t_m$  ile VSP verisinden bu arayüzey için seçilen yansıma zamanları  $t_r$  arasındaki farklardan bu arayüzey için konum düzeltmesi hesaplanır. Konum ayarlaması sırasında arayüzeyin üzerindeki tabakanın hızı sabit bırakılır. Aynı işlemler bu tek arayüzey için model ve VSP zamanları yeterince yakınsayınca kadar tekrarlanır.

Şekil 9, tek bir arayüzeyden gelen yansımanın ışın yolunu göstermektedir. Arayüzeylerin yatay kesik çizgilerden meydana geldiği varsayılmıştır. Bu varsayım sayesinde modelden hesaplanacak zaman değerleri sadece derinliğin bir fonksiyonu olmuş olur. Yani, yansımanın kaynaklandığı  $(x, z)$  noktasının koordinatlarından  $z$ , ışın izleme yoluyla bulunursa,  $x$  direkt olarak hesaplanabilir.

$$x(z_m) = \int_0^{z_m} \frac{(1 - p^2 \vartheta^2(u))^{1/2}}{p \vartheta(u)} du \quad (3)$$

$$\vartheta(u) = \vartheta(x(z_m), z_m)$$

burada

$p$  : ışın parametresi,

$v$  :  $v(x(z_m), z_m)$  modeldeki ışın yolu boyunca karşılaşılan hız değerleridir.

Modelden yansıma zamanları da

$$t_m(x(z_m), z_m) = \int_0^{z_m} \frac{du}{\vartheta(u)(1 - p^2 \vartheta^2(u))^{1/2}} + \int_{z_g}^z \frac{du}{\vartheta(u)(1 - p^2 \vartheta^2(u))^{1/2}} \quad (4)$$

formülü ile hesaplanır. Bu eşitlik, yatay tabakalar için kullanılan formülün aynısı gibi görülse de, aynısı değildir. Çünkü ışın yolunun AB ve CB parçaları boyunca karşılaşılan hızlar farklıdır. Model zamanı  $t$  ile VSP'den alınan yansıma zamanı  $t_r$  arasındaki fark, Taylor serisi yaklaşımı ile şöyle yazılabilir:

$$\Delta t = t_r - t_m = \frac{\partial t_m}{\partial z_m} \Delta z_m \quad (5)$$

burada

$$\frac{\partial t_m}{\partial z_m} = \frac{1}{\vartheta(x(z_m), z_m) \sqrt{1 - p^2 \vartheta^2}} \quad (6)$$

bu türev  $(x(z_m), z_m)$  noktasında değerlendirilirse,  $\Delta z_m$  hesaplanabilir. Modeldeki yansıma noktasının yeni koordinatları  $(x(z_m), z_m + \Delta z_m)$  olarak değiştirilir ve bu noktadan geçen kesik çizgi  $\Delta z_m$  kadar aşağı ve yukarı kaydırılır. Üzerinde çalışılan arayüzeyden gelen yansımaların kaydedildiği bütün jeofon pozisyonları için konum düzeltmeleri hesaplanır. Gerekirse, bütün işlemler modeldeki arayüzeyin yeni konumu ile tekrarlanır.

VSP verisiyle ayarlanmış modelden de direkt olarak migrasyonlu kesitte görülecek gidiş-geliş yansıma zamanları hesaplanır. Bu zamana VSP'den çıkarılacak dalgacık konularak, migrasyonlu sismik kesit elde etme işlemi tamamlanmış olur.

#### SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

VSP kuyu çevresindeki jeolojik yapı, stratigrafi ve de kayaların fiziki özelliklerinin yüksek ayırtıcılıkla görüntülenmesine elverişli çok yönlü bir sismik tekniktir. Ofset VSP ve DWSP'yle  $x$  ve  $z$  olmak üzere iki boyutta sismik veri kaydedilir. VSP verisinin  $z$ -bileşeni aşağı ve yukarı yayılan dalgaların ayırımı mümkün kılarken;  $x$ -bileşeni de, iyi bir jeolojik modelin hazırlanması koşulu ile VSP verisinin migrasyonlu sismik kesit formatına dönüştürülmesini sağlar.

Gelecekte yukarıda açıklandığı şekilde bir VSP-program paketinin geliştirilerek, bu paketle:

1- Ofset VSP veya DWSP'den yüzey sismğine dönüşüm gerçekleştirilebilmeli,

2- Yayılma zaman ve dalgacık genliklerinden hız, sö-nümleme sabiti gibi parametrelerin hesaplanması ve bunlar-dan yararlanarak kayaçların porositeleri, sıvı saturasyonları üzerinde istatistiki tahminler yapılabilirdir.

VSP verisinin çok kanallı olarak kaydedilmesi bu tek-niğin daha da fazla tutulmasına yardımcı olacaktır.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Balch, A.H., Lee, M.W., Miller, J.J. and Ryder, R.T., 1982, The use of vertical seismic profiles in seismic investigations of the earth, *Geophysics*, V. 47, No. 6, p. 906-918.
- Dillon, P.B., and Thomson, R.C., 1983, Image Reconstruction for Offset Source VSP Surveys, Seismograph Service Limited, 4<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Exploration Geophysicists.

Garriott, J.C., Vertical Seismic Profile Data Acquisition, SSC Com-pany advertisement.

Hale, D. and Claerbout, J.F., 1983, Butterworth Dip Filters, *Geophysics*, V. 48, p. 1033 - 1038.

Hardage, B.A., 1981, An examination of tube waves in vertical seis-mic profiling data, *Geophysics*, V. 46, No. 6, p. 892-903.

Kennett, P., Ireson, R.L., and Conn, P.J., 1980, Vertical Seismic Profiles: Their Applications in Exploration Geophysics, *Geo-physical Prospecting*, V. 28, p. 676 - 699.

Lee, M.W., and Balch, A.H., 1983, Computer Processing of Vertical Seismic Profiling Data, *Geophysics*, V. 48, No. 3, p. 272-287

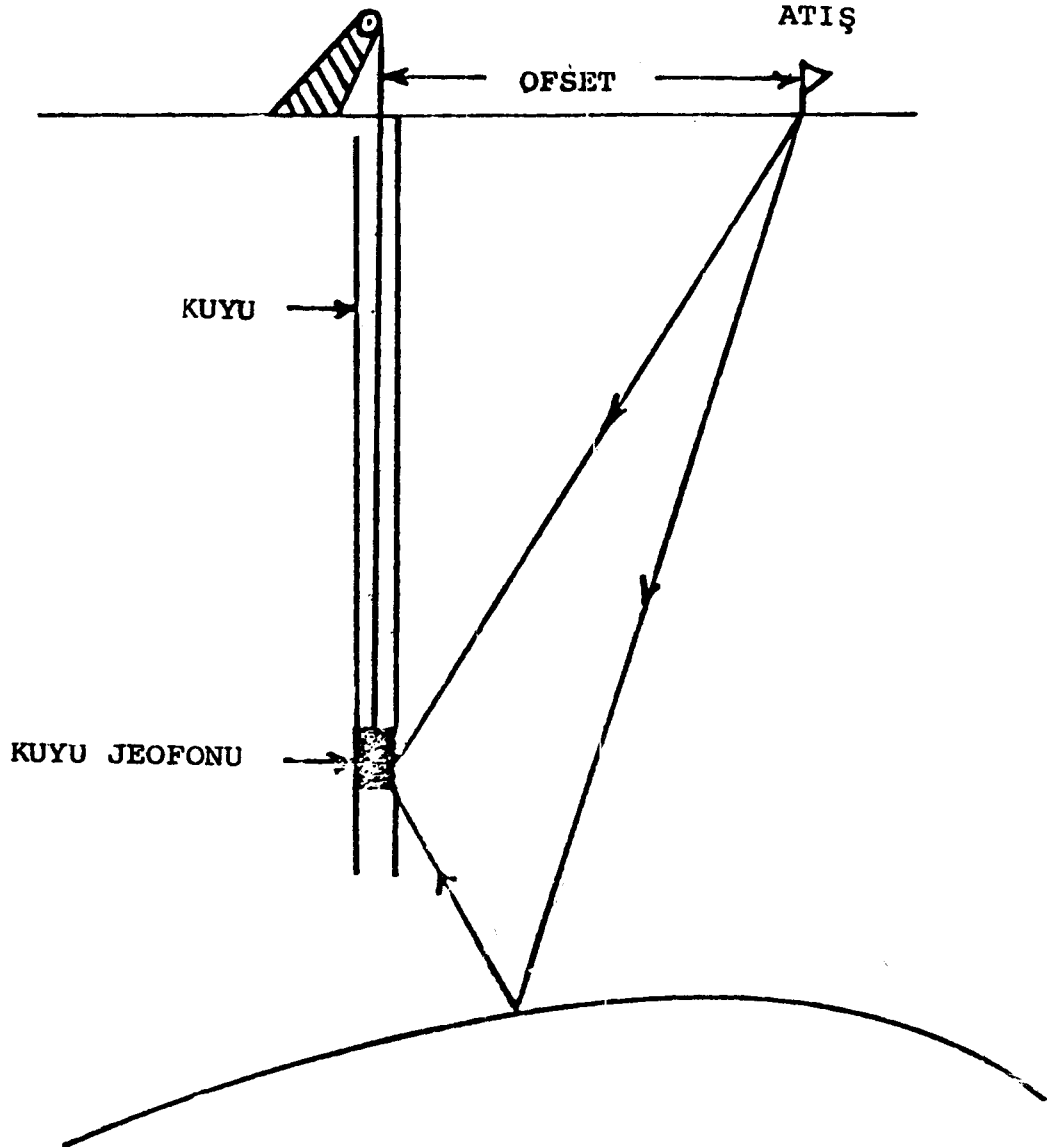
Omnes, G., 1979, Logs from P and S Vertical Seismic Profiles, 54th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Soc-ety of Petroleum Engineers of AIME.

Seeman, B., and Horowicz, L., 1983, Vertical seismic profiling: Se-paration of upgoing and downgoing acoustic waves in a strati-fied medium, *Geophysics*, V. 48, No. 5, p. 555-568.

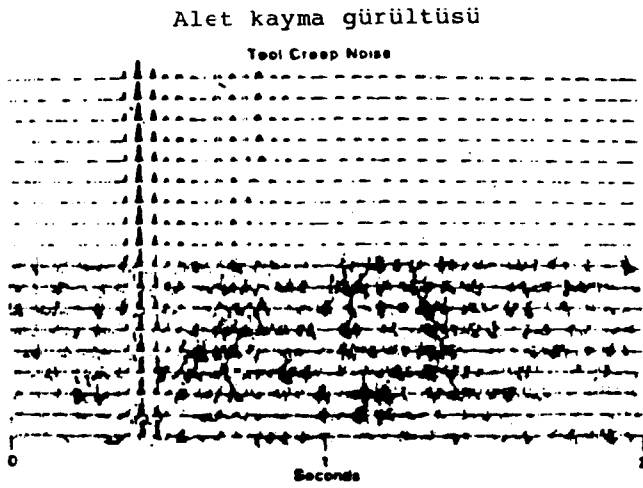
White, J.E., 1965, *Seismic Waves, Radiation, Transmission, and At-tenuation*: McGraw-Hill Book Co., New York.

Wyatt, K.D., and Wyatt, S.B., 1982, Downhole Vertical Seismic Pro-file survey reveals structure near borehole, *Oil and Gas Journal*, p. 78 - 82.

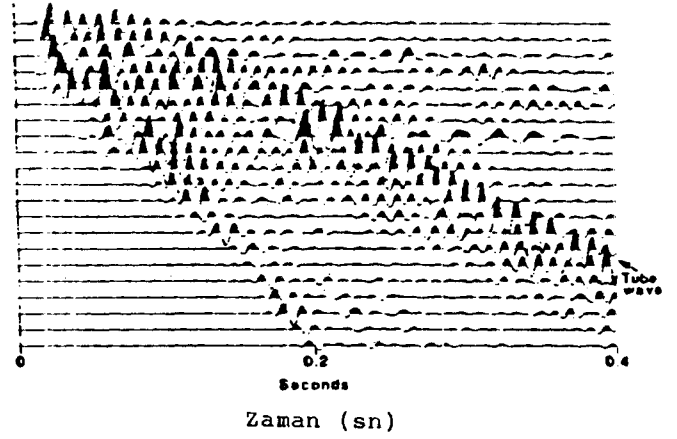
#### VSP VERİSİNİN TOPLANMASI



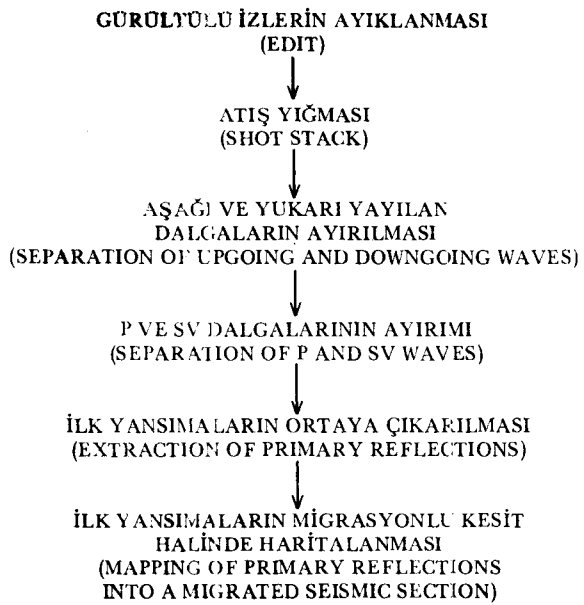
Şekil 1- VSP veri toplama düzeni



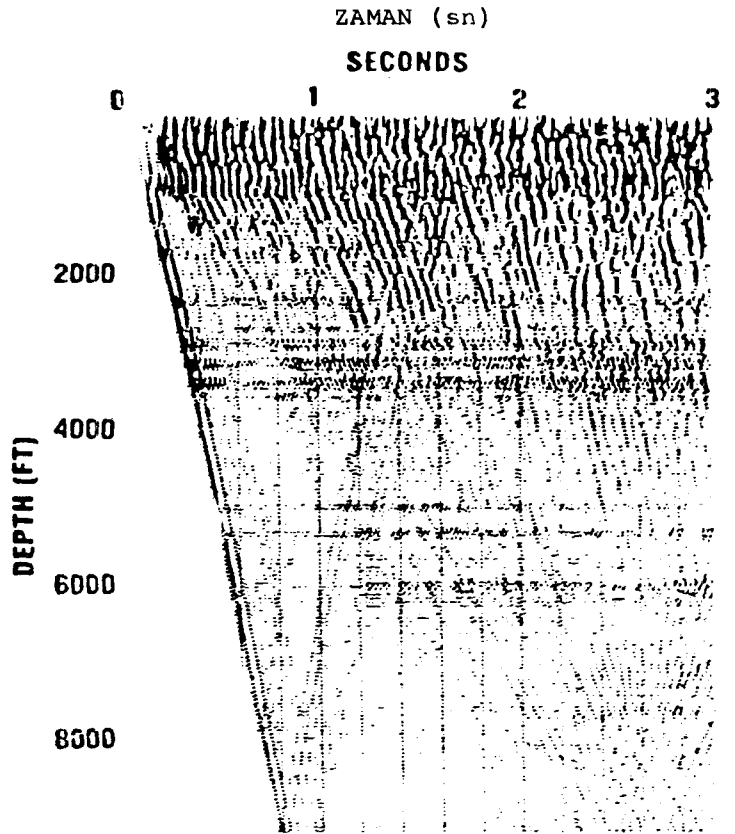
Şekil 2a- Jeofonun kuyu çeperi boyunca kaymasından oluşan yüksek frekanslı gürültüler.



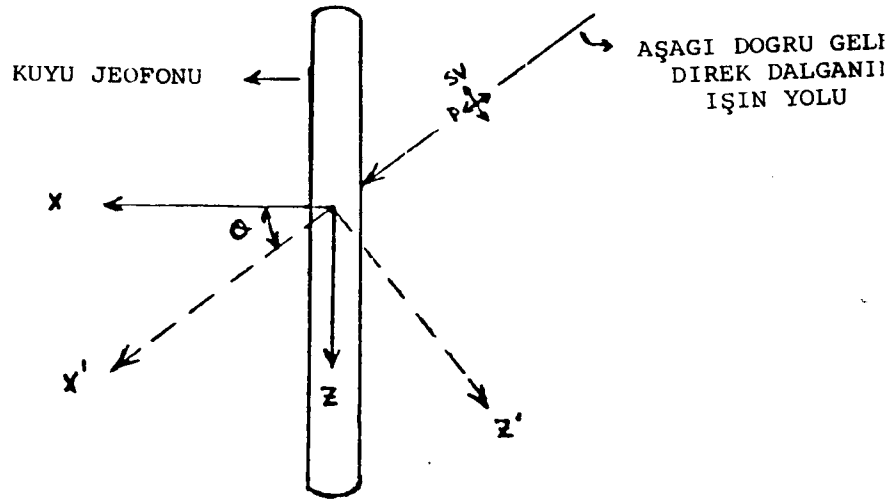
Şekil 2b- Yüksek genlikli tüp dalgaları



Şekil 3- VSP verisinin yüzey sismik kesiti formatına dönüştürülmesi için veri-işlem akış diagramı



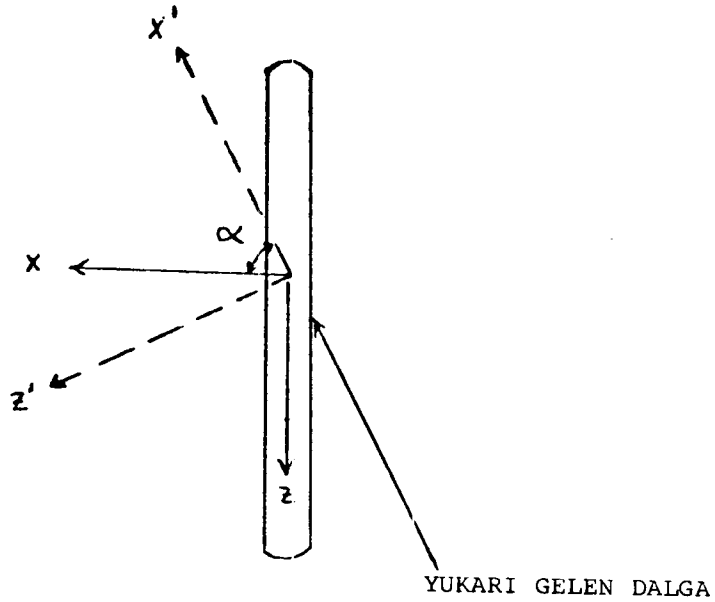
Şekil 4- VSP verisi edit ve atış yığması işlemlerinden sonra.



$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Tek bir zaman değeri için:

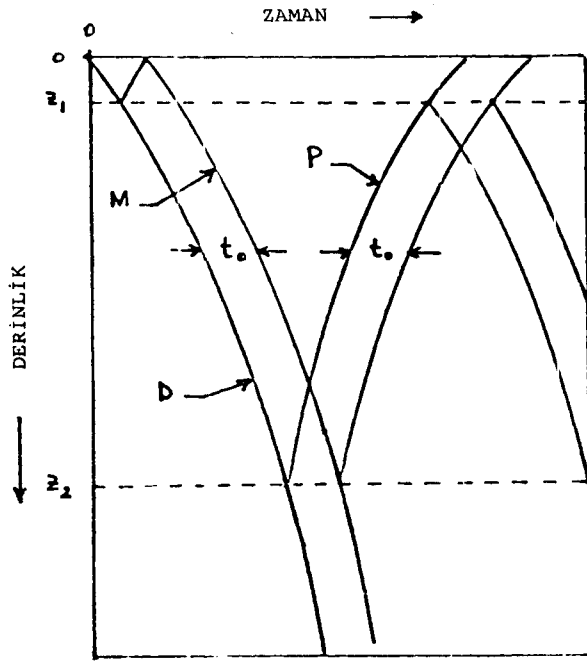
Şekil 5a- Aşağı doğru gelen direkt dalgaya uygulanacak koordinat rotasyonu



$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

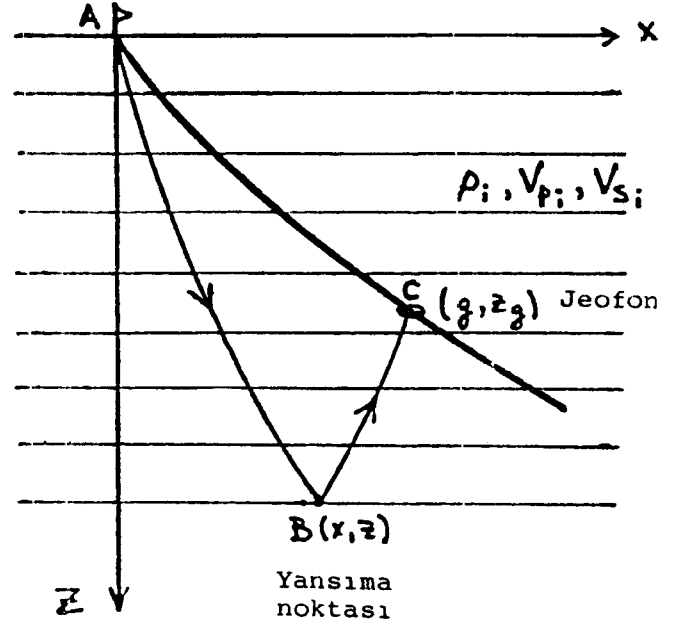
Şekil 5b- Yukarı yayılan dalgalara uygulanacak olan rotasyon matrisi

KATLAMALI YANSIMALARIN  
VSP'DEN KESTİRİMİ



Şekil 6- Aşağı yayılan direkt dalga D ile onun katlaması M arasındaki zaman gecikmesi, ilk yansıma P ile M'nin yansıması arasındaki zaman gecikmesi eşittir. Bu özellikten yararlanılarak yukarı yayılan dalga alanından katlamalı yansımaları arındıracak bir dekonvolüsyon operatörü dizayn edilir.

Kaynak

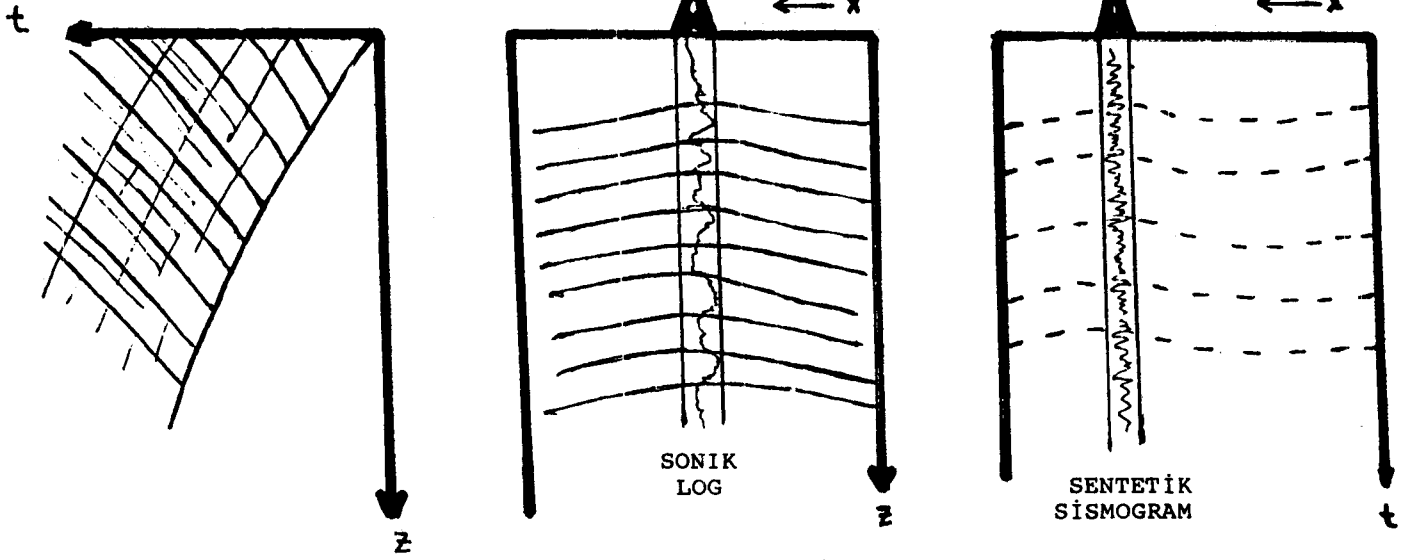


Şekil 7- Yansımaların direkt olarak haritalanması yöntemi için düzenek (set up)

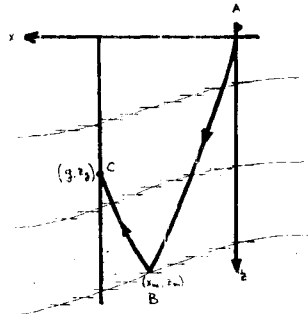
VSP

MODEL

SİSMİK KESİT



Şekil 8- Model kurulması



Şekil 9- Model ayarlama yöntemi için düzenek (set up).