



2.5 Boyutlu Sismik Yansıma Yöntemi Kullanılarak 2 ve 3 Boyutlu (2B ve 3B) Veri Toplama Yaklaşımı: Hatay Örnek Çalışması

2 and 3-Dimensional (2D and 3D) Data Acquisition and Processing Using The 2.5-Dimensional (2.5D) Seismic Method: Hatay Study

ORHAN GÜRELİ^{1*} 

¹ Arar Petrol AŞ. Dumluca Sk. No:19, Ankara, Türkiye

Geliş (*received*): 27 Şubat (*February*) 2024 Kabul (*accepted*): 26 Eylül (*September*) 2024

ÖZ

Yerkürenin üç boyutlu (3B) olması nedeniyle, yerin içini en iyi şekilde görüntüleyebilmek için 3B sismik veriye ihtiyaç vardır. 3B verinin elde edilebilmesi için de verinin sahada 3B toplanması gerekir. Arazi şartları nedeniyle sahada her zaman 3B veri toplamak mümkün olmamaktadır.

3B sismik veri toplama yapılamaması durumunda 2.5B sismik yöntemi kullanılarak 3B veri elde etmek mümkündür. 3B sismik veri için arazide 2.5B yöntemle veri toplamak gereklidir. Bu yöntem için denizde uygulanan 3B sismik veri toplama yöntemi karaya uygulanmıştır. Denizde ise flip-flop tekniği ile veri toplanır. Genelde alıcı kablo aralığı 100m dir. Bu parametre seçimleri denizdeki bin boyutlarını belirler. Denizde ise bin olarak bilinen hücreler dikdörtgen olacak şekilde genelde 6.25x25m tercih edilir.

2.5B sismik veri toplama yöntemi, denizde uygulanan 3B sismik veri toplama tekniğinin karaya uygulanmış halidir. Bu yöntemde de bin boyutları dikdörtgen olacak şekilde uygulanır. Bu yöntemde karada kare bin yerine dikdörtgen bin tercih edilmesi nedeniyle yöntem 2.5B olarak adlandırılmıştır. 2.5B sismik veri toplama yöntemiyle toplanan veri, hem 2B hem de 3B veri olabilmektedir. Toplanan veri alıcı hatlarına göre ayrılarak 2B veri işlemi yapılabilir veya birleştirilerek 3B küp verisi elde edilebilir.

Bu yöntem ilk defa ARAR Petrol AŞ. tarafından test amaçlı Hatay bölgesinde bir uygulaması yapılmıştır. Daha sonra Konya-Karapınar ve Manisa-Salihli'de (Jeotermal amaçlı) uygulamaları yapılmıştır.

Bu çalışmada, Hatay bölgesinde ilk denemesi yapılan bu yöntemin saha uygulaması ve sonuçları verilmiştir. 2.5B yöntemi ile sahada elde edilen veriler hem 2B hem de 3B olacak şekilde veri işlemi yapıldı. Her iki veri işlem sonuçları da bu makalede karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2B sismik, 3B sismik, Sismik Veri İşlem, Sismik Yansıma

ABSTRACT

To best view the interior of the earth, 3D seismic data is required since the earth is three-dimensional. However, 3D data acquisition in the field can be challenging due to terrain conditions. In situations where 3D data cannot be acquired, two-dimensional (2D) seismic cannot replace it.

If 3D seismic data cannot be obtained in the field, the 2.5D seismic method can be used to acquire three-dimensional data. The 2.5D seismic method was developed for this purpose, which involves acquired data in the field. This method applied the 3D marine seismic data acquisition technique to land. 3D seismic data is acquired at marine with the flip flop technique. In general, the distance between the receiver cables is 100 metres. These selects determine the dimensions of the bin in 3D marine seismic. Generally, rectangular cells known as 'bin size' with dimensions of 6.25x25m are preferred.

The 2.5D seismic data acquisition method is alternative of the 3D land seismic data acquisition method and which is similar 3D marine seismic data acquisition method. In this method, bin dimensions are applied as rectangles. It is called 2.5D because rectangular bin are preferred instead of square bins on land. The data acquired using the 2.5D seismic data acquisition method can be both 2D and 3D. The data can be separated according to receiver lines to process 2D data or combined to obtain 3D cube data.

This method was first tested in the Hatay region by ARAR Petrol AŞ and later applied in Konya-Karapınar and Manisa-Salihli for geothermal purposes.

In this study, the field application and results of this method, which was first tested in the Hatay region, are given. The data obtained in the field with the 2.5D method were processed in both 2D and 3D processing methods. The both of processing results are compared in this paper.

Keywords: 2D seismic, 3D seismic, Seismic Data Processing, Seismic Reflection

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1443632>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: ogureli@arar.com.tr

GİRİŞ

Sismik yansıma yöntemi; hem petrol, doğal gaz, jeotermal gibi derin çalışmalarda hem de maden, zemin araştırmaları gibi sığ sismik çalışmalarda kullanılmaktadır. 1900'lü yılların başından beri sismik yöntemler uygulanmaktadır. 1930'larda ilk 2B sismik yansıma verisi toplanmaya başlandı. 1950'li ve 1960'lı yıllar boyunca veri toplama ve veri işlem yöntemlerinde çok fazla gelişmeler olmuştur. İlk ticari 3B sismik veri 1975 yılında Kuzey Denizi'nde kayıt edilmiştir (Davies, 2004). Galbraith (2001) tarafından 1978 yılında Kanada-Calgary yakınlarında karada ilk defa

3B Orthogonal sismik programının tasarımı yapıldı. 1980'lerin başında da karada bu yöntem ile 3B veri toplama çalışmaları yapıldı. Orthogonal yönteminde atış ve alıcı hatları birbirine dik olacak şekilde tasarlanır. Atış hatları belirli aralıklarla ve paralel olacak şekilde, alıcı hatların dik ve iki alıcı noktasının arasından geçecek şekilde sahada işaretlemesi yapılır. Genellikle kaynak ve alıcı hatları birbirine dik olarak düzenlenir. Bu geometri özellikle saha ve kayıt ekibinin ve istasyon numaralandırmasının takibi kolaydır. Orthogonal bir tasarımda aktif alıcı hatları, her kaynak noktası konumunu çevreleyen dikdörtgen bir spread oluşturur. Spread

genellikle alıcı hattı yönünde daha uzun bir eksene sahiptir.

Türkiye’de ise ilk 3B sismik veri toplama çalışması, Western Geophysical tarafından 1985 yılında Adıyaman-Çukurtaş’ta TPAO adına toplam 70 km²’lik bir alanda yapılmıştır (Sakallıoğlu,1997). Türkiye’de 2016 yılının sonuna kadar toplam 18.860 km² 3B sismik veri toplama çalışması yapılmıştır (Sakallıoğlu, 2017). Türkiye’de kamu ve özel şirketler 3B sismik veri toplama çalışmalarını her yıl artırarak devam ettirmektedir. Yüzey şartları nedeniyle, genellikle Orthogonal yöntemi tercih edilmektedir (Sakallıoğlu, 2012; Toksoy, 2018).

Her sahanın jeolojik durumu, jeolojik hedefleri farklı olacağı için, her sahanın da 3B veri toplama parametresi, ve 3B dizaynı farklı olabilir. Dünyada konvensiyonel 3B sismik yöntem olarak genelde Orthogonal yöntemi uygulanmaktadır. Sahada düzgün 3B veri toplanabilmesi için örneklemenin düzgün olması, yani atış ve alıcı aralığının eşit olması gerekmektedir. Daha detaylı düşünüldüğünde, her yerde eşit atış-alıcı aralığı, eşit atış-alıcı hattı aralığı hatta mümkünse eşit saha boyutu olmalıdır (Vermeer, 2012).

Yüzey şartlarının uygun olmadığı yerlerde ve çevresel etki nedeniyle bir çok proje iptal edilmektedir. 3B sismik yerine 2B sismik tercih edilmektedir. 3B sismik veri toplama birim fiyatlarının çok yüksek olması nedeniyle, çok iyi bir yöntem seçilmeli ve uygulanmalıdır (Davies, 2004). 3B sismik veriler, yeraltının yeterli ve ayrıntılı bir 3B görüntüsünü sağlayarak daha güvenilir bir yoruma yol açar. 3B verilerinin geleneksel işlenmesinin nihai amacı, yer altının 3B sismik görüntüsünü elde etmektir. (Yılmaz, 2001).

3B sismik yapılacak sahanın yüzeyinin 3B veri toplamaya uygun olmaması durumunda 3B sismik yapılamamaktadır. Ancak, yapılması

istenirse çevreye çok fazla zarar verecek şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, sahada 3B veri toplama istenmesine rağmen, saha şartları nedeniyle yapılamaması durumunda bir çıkış yolu bulmaktır. Çevreye zarar vermeyecek şekilde yeni yöntemler geliştirilmektedir ki bu yöntem de 2.5B yöntemidir. Bu yöntem ile 3B sismik veri toplama yapılamayan sahalarda 3B veri toplanması sağlanmıştır.

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLJİSİ

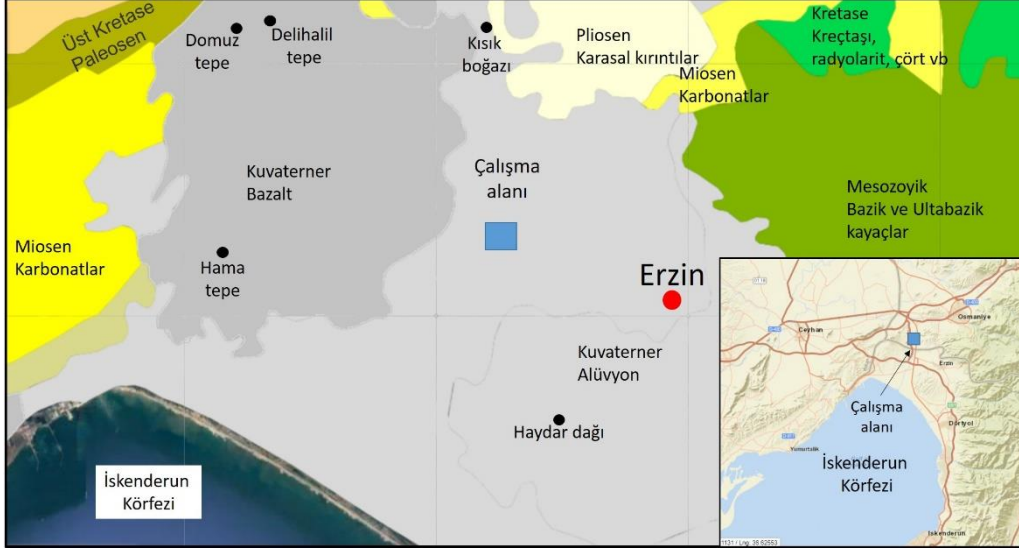
Hatay-Erzin ovası, Akdeniz bölgesinde olup İskenderun körfezinin kuzeydoğusunda, Hatay ve Adana illeri sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının doğusunda Amanos Dağları olup, batıda Leçe denilen Delihalil bazaltları yer almaktadır. Kuzeyde Kısık boğazı güneyde ise İskenderun körfezi bulunmaktadır (Atlı, 2010).

Erzin Ovasında en üstte Kuvarterner yaşlı Alüvyon (kum-çakıl tabakaları), Kuvarterner yaşlı bazalt, Pliosen yaşlı konglomera ve Miosen yaşlı kil ve kumtaşları bulunur (DSİ, 1974; Doyuran 1982). Araştırma alanındaki başlıca Kuvarterner oluşumlar Delihalil formasyonu, kaliçi, birikinti koni çökelleri, kıyı kumulları ve alüvyonlardır (Atlı, 2010). Ovanın temelini oluşturan ofiyolitli serinin kalınlığı bilinmemektedir. Yerleşme yaşının Üst Kretase olduğu kabul edilmektedir (Atan, 1969; Aslaner 1973).

Delihalil formasyonu; Erzin’in batı ve kuzeybatısında yer alan “Leçelik (çapır arazi)” ovada en ilgi çekici yeryüzü şeklini oluşturmaktadır. Delihalil tepe eteklerinde görülen Leçelik bazalt lav akıntıları sonucu oluşmuştur. Bazalt cürufu olarak nitelenebilecek bu oluşuk ana koni olan Delihalil ile parazit konilerini oluşturan Domuz tepe ve Hama tepelerden gelen lavların çabuk soğumaları sonucu meydana gelmiştir.

Renkleri koyu gri ve siyahtır. Oluşumu sırasında ihtiva ettiği gazların uçması nedeniyle delikli yapı gösterirler (DSİ, 1974).

Delihalil formasyonunun yaşının Kuvaterner olarak kabul edildiği bildirilmektedir.



Şekil 1. Çalışma sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2024)

Figure 1. Geological map of the study area (MTA, 2024)

Alüvyon; (Doyuran, 1982) tarafından Erzin Ovası'nın büyük bir kısmında görüldüğü, sel suları ve akarsu çökellerinden oluştuğu bildirilmektedir. Akarsu yataklarında genellikle çakıllı ve yer yer kumlu olan alüvyonlar ovanın diğer kısımlarında daha çok kumlu, siltli ve killidir.

Haydar formasyonu, ismini Haydar dağından alır. Doyuran (1982) ile Karahanoğlu ve ark. (1995) tarafından Haydar formasyonunun bol serpantin ve kireçtaşı, az kuvars ve çört çakılları içeren karbonat çimentolu iyi pekişmiş konglomeradan ve yer yer marn bantları ve mercerlerinden oluştuğu bildirilmiştir.

Şekil 1'de çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası verilmiştir. Çalışma sahası petrol vedeğal gaz açısından potansiyel bir sahadır. Daha önce açılan kuyularda petrol ve gaz

keşifleri yapılmıştır. Bölgede doğal gaz üretimi yapılmaktadır.

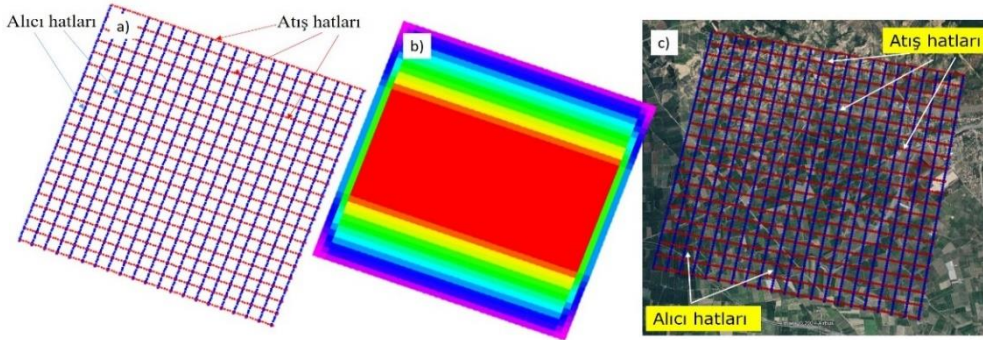
YÖNTEM

3B kara sismik yansıma yöntemi

Karada ve denizde hem 2B hem de 3B sismik yapılmaktadır. Konvensiyonel kara sismiğinde genel olarak 3B Orthogonal sismik yöntem uygulanmaktadır (Şekil 2). Orthogonal yöntemi kadar yaygın olmasa da Brick (Tuğla örülü duvar desenine benzeyen bir dizaynı vardır. Orthogonal yönteminin ofset dağılımını iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Alternatif alıcı hatları arasında yer alan kaynak nokta gruplarının yarım hat konumuna taşınmasıyla olur. Dar bir azimut parçası için tuğla deseninin ofset dağılımı, orthogonal tasarıma göre daha üstündür.), Zigzag (Zig-Zag dizaynı çöl bölgelerinde veya alıcı hatları arasının uygun

olduğu diğer yerlerde yaygın olarak kullanılır. Tek kaynak hatları, tek bir zig-zag için bitişik alıcı hat çiftleri arasına yerleştirilir. Ofset dağılımı ve yakın ofsette daha fazla veri toplama amacıyla yapılır.), Radial (Radial tasarım, örümcek ağına benzer bir dizayndır. Merkezden uzaklaştıkça genişleyen bir alıcı hatlar vardır. Merkezden eşit uzaklıkta ve yarı

çapı büyüyen dairesel atış hatları vardır. Atışlar yapılırken tüm alıcılar kayıt alır. Genelde kuyu merkeze alınır ve bu yöntemle veri toplanır. Amaç, kuyunun olduğu bölgedeki rezervuar yapısını ayrıntılı görüntülemektir.) gibi yöntemlerde kullanılmaktadır (Cordsen, 2000; Ekinciöğlü, 2005; Gürelî, 2005). Denizde ise bu yöntemler uygulanamamaktadır. Deniz şartları



Şekil 2. a) 3B Kara Orthogonal sismik program örneği (Kırmızı hatlar atış hatları, mavi hatlar ise alıcı hatlarıdır), b) Katlama sayısı (fold) dağılımı, c) Planlanan 3B sismik programın Google-Earth görüntüsü

Figure 2. a) Example of 3D Land Orthogonal seismic program (Red lines are shot lines and blue lines are receiver lines), b) Fold distribution, c) Google-Earth image of the planned 3D seismic program

nedeniyle sadece Swath (Bu geometride kaynak ve alıcı hatları paraleldir ve genellikle çakışır. Kaynak noktaları tek bir atış hattı üzerinde olurken, alıcılar ise atış hattına paralel ve bir çok alıcı hattı üzerinde olur. (Ekinciöğlü, 2005)) tekniği uygulanabilmektedir. Deniz 3B tekniğinde bin'ler dikdörtgen tercih edilirken, karadaki tekniklerin uygulaması daha kolay olduğu için kare bin'ler tercih edilir.

Karada uygulanan Orthogonal yöntemde atış ve alıcı hatları birbirine dik uygulanır (Cordsen, 2000). Denizde ise atış hattı ile alıcı kabloları (Streamer) paralel ve aynı yönlüdür. Denizde 3B sismik veri toplama çalışmalarını yapmak çok kolaydır. Karada ise arazi şartlarına göre kolay yada zor olabilir. Karada düz ve açık arazide 3B sismik yapmak kolaydır. Fakat arazi şartlarının zor olduğu (orman içleri, fidanlık,

ağaçlı olan bölgeler, engebeli yüzey şartları gibi) yerlerde sismik yapmak zordur. Bunun için 2.5B sismik yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, 3B sismik yöntemin uygulanmadığı yerlerde 3B sismik veri elde edebilmek için geliştirilmiştir.

Tablo 1'de örnek bir 3B sismik veri toplama parametreleri görülmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi bin boyutları kare olacak şekilde seçilmiştir.

Şekil 8'de örnek planlanan bir 3B sismik program görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi saha 3B sismik için oldukça zordur. Sismik programın yapılacağı alan zeytin, portakal ve narenciye ağaçları ile kaplıdır. Yüzey şartları nedeniyle bu sahada 3B sismik yapmak zordur (Başar, 2001).

Tablo 1. 3B kara sismik veri toplama parametreleri

3B Sismik Veri Toplama Parametreleri	
Saha	Hatay
Toplam Survey alanı	50 km ²
Alıcı grup aralığı (RI)	40 m
Atış aralığı (SI)	40 m
Bin size (kare)	20 x 20 m
Atış Hattı aralığı (SLI)	200 m
Alıcı Hattı aralığı (RLI)	200 m
Bir hattaki canlı kanal sayısı (KS)	160
Alıcı hattı sayısı (NRL)	16
Toplam 3B Fold	8*16=128
Toplam aktif kanal sayısı : Patch	16*160=2560
Kaynak	Vibratör
Jeofon özelliği	10 Hz. Nokta başına 12 adet jeofon
Jeofon düzeni	1x12 inline
Kayıt cihazı	Sercel Wing / 24 bit Kablosuz
Spread/Atış yeri	Simetrik split spread
Yakın offset	28 m
Uzak offset	3840 m
Kayıt uzunluğu	5 s
Örnekleme aralığı	2 ms

$$Cx = (KS * RI) / (2 * SLI) \quad (1)$$

$$Cy = NRL / 2 \quad (2)$$

$$C = Cx * Cy \quad (3)$$

Burada;

Cx : In-line yöndeki katlama sayısı,

Cy : X-line yöndeki katlama sayısı,

C : Bir bin içindeki toplam 3B katlama sayısı,

KS : Bir atış hattındaki canlı alıcı sayısı,

RI : Alıcı grup aralığı,

SLI : Atış hattı aralığı,

NRL : Alıcı hattı sayısıdır.

Tablo 1'e göre katlama sayısı hesaplanırsa,

$$Cx = (160 * 40) / (2 * 200) = 16 \quad (4)$$

$$Cy = 16 / 2 = 8 \quad (5)$$

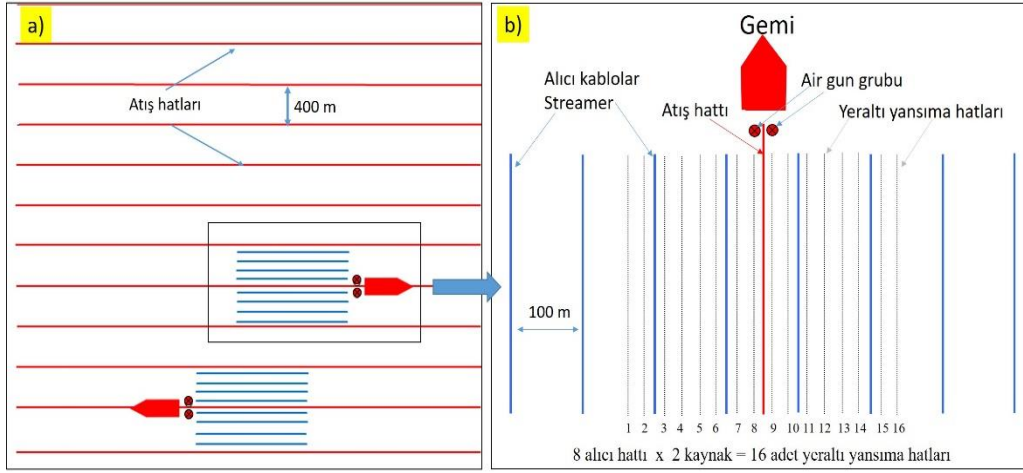
$$C = 16 * 8 = 128 \quad (6)$$

3B yöntemde katlama sayısı (fold) kara ve denizde farklı hesaplanır. Karada aşağıdaki gibidir.

olur. Yani bir 20x20m boyutlarındaki her bir bin içinde farklı azimut ve ofsette 128 adet iz yansıyacak demektir.

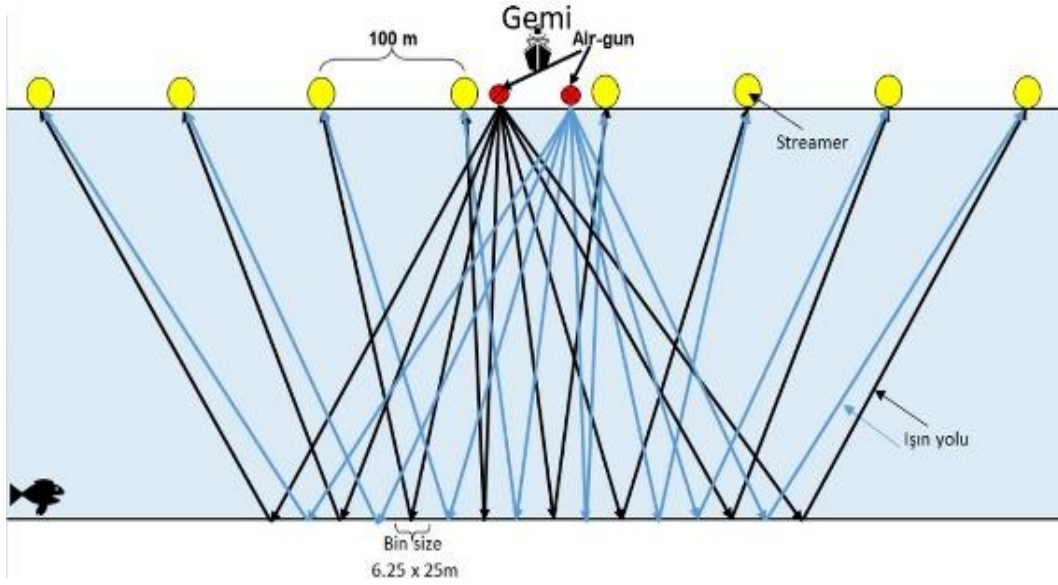
3B deniz sismik yansıma yöntemi

Deniz sismiği, denizde yapıldığı için kara sismiği ile kıyaslandığında yüzeyde herhangi bir sorunu yoktur. Kara sismiğindeki yüzey koşulları (dağ, tepe, orman, nehir, yol, şehir vs.) sorunu denizde yoktur. Deniz sismiğinde ise fırtına, gemi-denizaltı gürültüleri, akıntı gibi sorunlar vardır. Hava koşulları uygun olduğu sürece 24 saat boyunca sismik veri toplaması yapılabilmektedir. Deniz sismiği için bir gemi, planlanan kadar alıcı kabloları (streamer), kaynak (airgun) grubu ve navigasyon sistemi yeterlidir (Gürel, 2001).



Şekil 3. a) Denizde 3B denizde veri toplama için atış şekli, b) Bir atış hattı için atış-alıcı kabloları ve yerçi yansımalarının görünüşü

Figure 3. a) Shot geometry for 3D marine data acquisition, b) A view of shot-receiver cables and subsurface lines for a shot line



Şekil 4. Denizde 2 airgun grubu ve 8 alıcı kablolu (streamer) ve 3D için ışın yolu

Figure 4. A view of 2 airgun groups, 8 receiver lines (streamer) and ray path for 3D seismic at marine

Tablo 2’de, denizde yapılan 3B sismik veri toplama için parametrelerin bir kısmı verilmiştir. Bir konvensiyonel deniz 3B sismik parametreleri incelendiğinde bin’in dikdörtgen olduğu görülür. Şekil 3a’da, denizde 8 alıcı kablolarına sahip bir gemi ile 3B sismik veri toplama şekli görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, alıcı kablo sayısı ve alıcı kablo aralığı atış hatları arası mesafeyi belirler. Ayrıca alıcı kablo uzunluğu sismik geminin manevrasını belirler. Yani geminin alıcı kablosu uzun ise daha genişten ve uzaktan dolanarak yeni hatta atışa başlayabilir. Geminin manevra mesafesi, genelde alıcı kablo uzunluğunun yarısı kadar son atıştan sonra aynı doğrultuda devam edilir, yarıçaplı alıcı kablo mesafesinin yarısı olan bir daire üzerinde 180 derece döner ve dönme işlemi tamamlandıktan sonra alıcı hattı mesafesinin yarısı kadar gider, planlanan atış hattına ulaşır ve atışlar başlar. Şekil 3a’da geminin üzerinde hareket ettiği atış hatları (kırmızı), çektiği alıcı kabloları (mavi) ve kaynaklar (kırmızı yuvarlak noktalar) görülmektedir. Şekil 3b’de ise 3B sismik için bir gemi, bir atış hattı, 8 adet alıcı kablosu ve yeraltındaki yansıma hatları (gri) görülmektedir. Flip flop tekniği ile 2 farklı kaynak grubunda (Flip flop tekniği: Kaynak grupları sıra ile 25m’de bir atış yapma şeklindedir) atış yapılmaktadır. 2 farklı kaynak ve 8 alıcı kablosunda toplam yer içinde 16 adet sismik hatlardan kayıt alınmaktadır. Birinci kaynak grubunda atış yapıldığı zaman, yer içindeki 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 ve 15 nolu hatlardan veri toplanır. İkinci kaynak grubunda atış yapıldığı zaman ise, yer içindeki 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 ve 16 nolu hatlardan veri toplanır.

Şekil 4’de, 3B deniz sismiği için enerji kaynakları (iki air gun grubu), alıcı kabloları (streamer) ve ışın yolları görülmektedir. 3B deniz sismiğinde 50m aralıklarla bulunan iki kaynak grubu kullanılır. Bu iki kaynak grubu sıra ile atış yapılarak kayıt alınır. Atışlar atış hattı üzerinde olup birinci air gun grubu hattın

25m solunda, ikinci air gun grubu ise hattın 25m sağında bulunur. Bu nedenle bin boyutu atış yönüne dik yönde (x-line) alıcı kablo aralığının 1/4’ü kadar, yani 25m olur (Şekil 4).

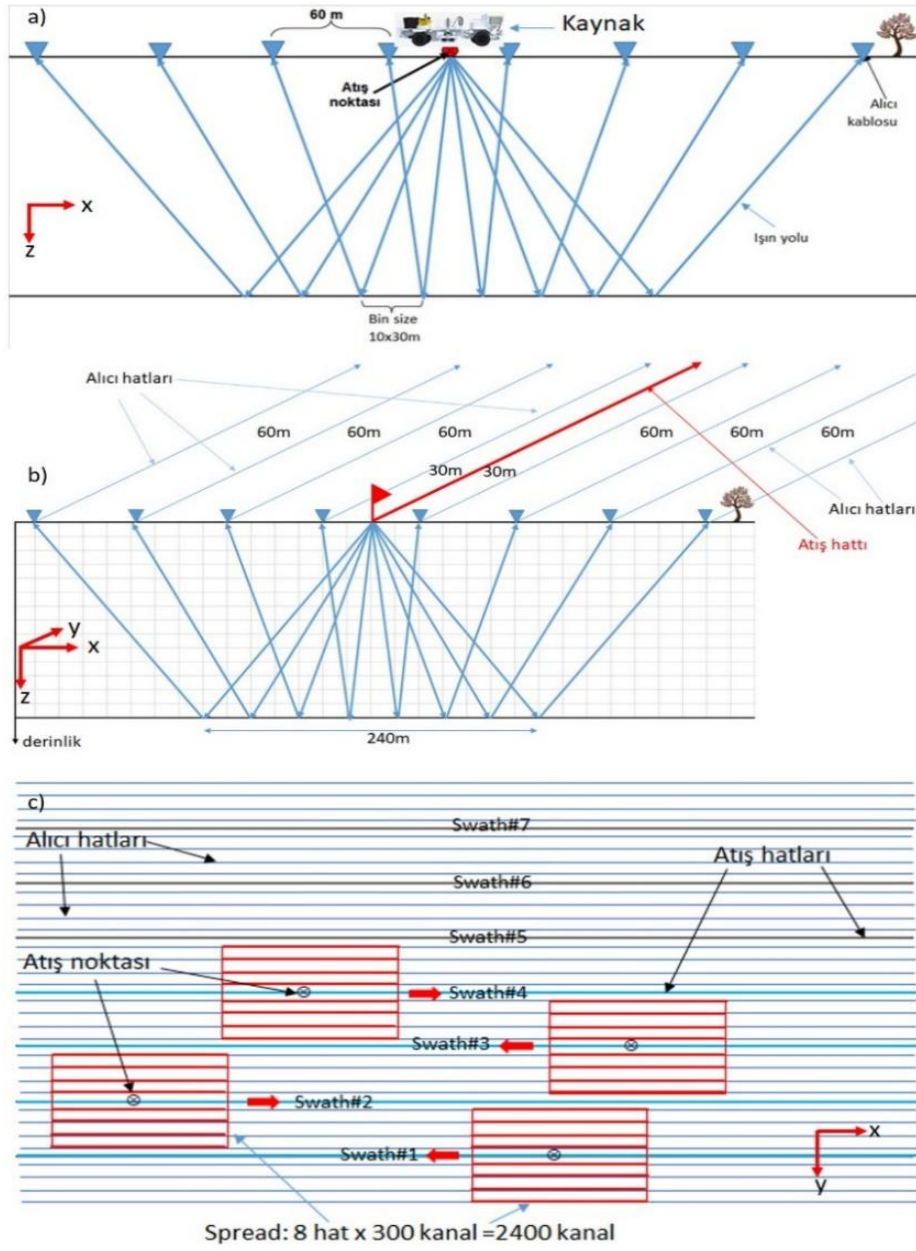
Tablo 2. 3B deniz sismik veri toplama parametreleri

Table 2. 3D marine seismic data acquisition parameters

3B Deniz Sismik Veri Toplama Parametreleri	
Program	100 km2
Atış hattı aralığı	400 m
Alıcı kablosu (Streamer) arası mesafe	100 m
Bir streamer’deki alıcı sayısı (KS)	300
Spread	8 hat x 300 kanal = 2400 aktif kanal
Flip flop atış aralığı (SI)	25 m
Air gun grup aralığı	50 m
Atış düzeni	flip-flop atış şekli
Hidrofon grup aralığı (RI)	12.5 m
Hidrofon sayısı/grup	12
3B katlama sayısı (fold sayısı)	75
Bin size (dikdörtgen)	6.25 x 25 m
Kaynak	Hava tabancası (airgun)
Toplam kaynak hacmi	3600 inç ³
Air gun sayısı	24
Air gun basıncı	2000 psi
Air gun derinliği	6 m
Alıcı grubu-streamer derinliği	7 m

Denizde katlama sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır. Denizde sadece in-line yöndeki formül kullanılır. X-line yöndeki formül kullanılmaz.

$$Cx = (KS * RI) / (2 * SI) \quad (7)$$



Şekil 5. a) Karada 1 kaynak ve 8 alıcı kablolu 2.5B için ışın yolu, b) 1 swath için alıcı ve atış hatlarının görünüşü, c) Swath'lara göre atış ve alıcıların konumu ve hareketleri

Figure 5. a) A view of 1 shot point, 8 receiver lines and ray path for 2.5D seismic on land, b) A view of the receiver and shot lines for 1 swath, c) Position and motion of the shot and receivers according to the swaths

Burada;

C : Bir bin içindeki toplam katlama sayısı,

KS : Bir alıcı kablosundaki canlı alıcı sayısı,

RI : Hidrofon grup aralığı,

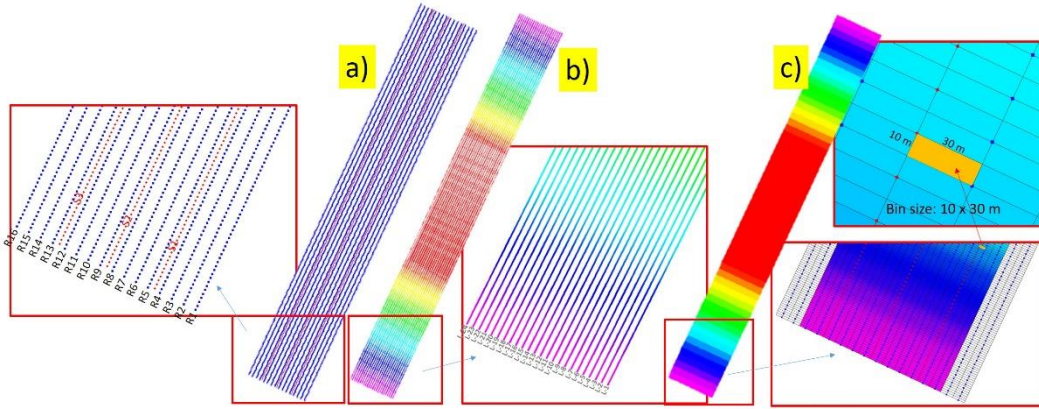
SI : Flip flop düzenine göre atış aralığı.

Bin'in alıcı hattı yönündeki boyutu (In-line) ise alıcı hidrofon grup aralığının yarısı kadar olur. Aksi belirtilmedikçe alıcı (hidrofon grubu) grup aralığı 12.5m tercih edilir. Bu durumda bin'in in-

line yönündeki boyutu 6.25m olur. Bunun sonucu olarak bin dikdörtgen şeklinde olup boyutları 6.25x25m elde edilir. Flip flop atış olması nedeniyle de katlama sayısı (fold) hesabı denizde farklı hesaplanır. Tablo 2'e göre katlama sayısı hesaplanırsa,

$$Cx = (300 * 12.5) / (2 * 25) = 75 \quad (8)$$

olur. Yani bir 6.25x25m boyutlarındaki her bir bin içinde farklı azimut ve ofsette 75 adet iz yansıyacak demektir.



Şekil 6. a) Bir swath'ın bütün olarak görünüşü (maviler alıcı noktalarını, kırmızılar atış noktalarını gösterir), b) Bir swath'ın bir kısmının görünüşü, c) yerindeki 2B sismik hatların bir kısmının görünüşü (katlama sayısına göre renkli), d) yerindeki 3B sismik alanının bir kısmının görünüşü (katlama sayısına göre renkli)

Figure 6. a) A view of the swath as a whole (blue indicates receiver points, red indicates shot points), b) A view of part of a swath, c) A view of part of the 2D subsurface seismic lines (coloured by fold numbers), d) A view of part of the 3D seismic subsurface area (coloured by fold numbers)

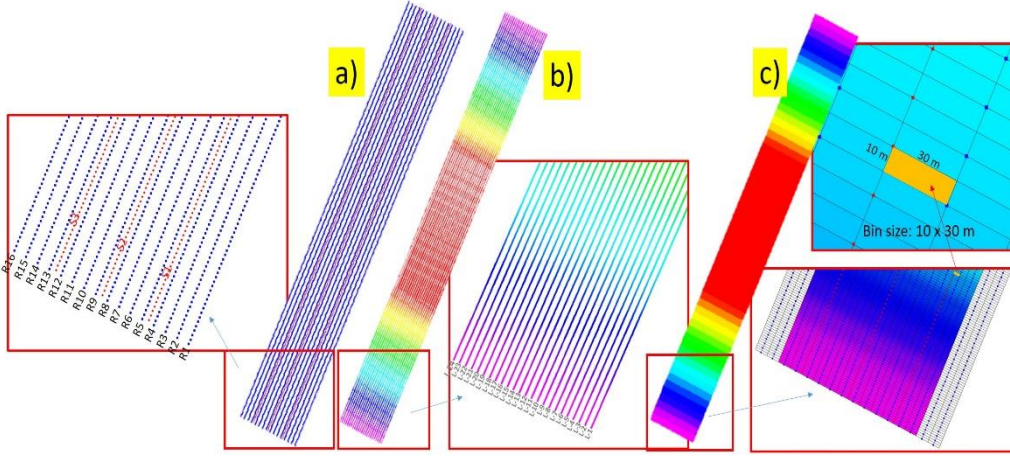
2.5B kara sismik yansıma yöntemi

2.5B veri toplama yöntemi, yukarıda belirttiği üzere 3B sismik yöntemin uygulanamadığı zor arazi şartlarında 3B sismik yapabilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. 3B sismik için uygun olmayan arazi şartlarında uygulanır. Bunun için 2.5B sismik yöntemi, denizde uygulanan 3B

yöntemin karaya uygulanması ile oluşturulmuştur. Karada da atış ve alıcı hatları denizdeki gibi aynı yönde olacak şekilde tasarlanır. Öncelikle karada 2.5B sismik yapılması planlanan sahanın, denizdeki 3B sismik program gibi dizaynı yapılır (Gürel, 2021).

Şekil 5a'da 2.5B kara sismiyi için kaynak (1 vibratör grubu), alıcı kabloları (60 metre aralıklarla) ve ışın yolları görülmektedir. 2.5B kara sismiyinde bir atış hattı olur, denizdeki gibi flip flop atış şekli uygulanamamaktadır. Atış noktaları da atış hattı üzerinde olur.

Yüzey şartlarına göre atışlar sağa veya sola ofsetli olabilir. Karadaki 3B sismikte atış hattına dik olacak şekilde yanıl ofsette atış yapılabiliyordu. 2.5B sismikte de aynı şekilde yanıl ofsette atış yapılabiliyor.



Şekil 7. Planlanan 2.5B sismik programı (mavi: alıcı hattı, kırmızı: atış hattı), b) 2.5B veriden 2B verinin elde edilmesi ve 2B fold dağılımı, c) 2.5B veriden 3B verinin elde edilmesi, 3B fold dağılımı ve “bin size” görünüşü

Figure 7. Planned 2.5D seismic program (blue: receiver lines, red: shot lines), b) Obtaining 2D data from 2.5D data and 2D fold distribution, c) Obtaining 3D data from 2.5D data, 3D fold distribution and a view of “bin size”

Atışlar alıcı hatları yönünde olacak şekilde yapılmaktadır. Tek kaynak kullanılması nedeniyle bin'in x-line yönde boyu alıcı hattı aralığının 1/2'si kadar, yani 30m olur. Bin'in in-line yöndeki boyutu ise alıcı grup aralığının yarısı kadar olur. Bu çalışmada grup aralığı 20 m tercih edilmiştir. Bu durumda bin'in in-line yöndeki boyu alıcı grup aralığının yarısı, yani 10 m olmuştur. Bunun sonucu olarak bin dikdörtgen şeklinde olup boyutları 10x30m seçilmiştir.

Katlama sayısı (fold) hesabı ise 3B kara sismiyindeki gibi değil, normal denizdeki 3B sismikteki gibi hesaplanır.

Şekil 5b'de, 2.5B sismik veri toplama tekniğinde atış-alıcı hatları ve ışın yolları görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi tek atış hattı ve bu hatta paralel sağında ve solunda 4'er adet alıcı hattı olmak üzere toplam 8 adet alıcı hattı bulunmaktadır. Alıcı hatlarının arası 60m dir. Alıcı nokta aralığı ise 20m dir. Atış hatları aralığı 240m ve atış noktaları arası ise 20m dir (Tablo 3).

Tablo 3. 2.5B sismik veri toplama parametreleri**Table 3.** 2.5B seismic data acquisition parameters

Atış ve Kayıt Parametreleri	
Toplam program	10 km ²
	8*300=2400 canlı kanal
Spread	kanal
Canlı alıcı hattı sayısı	8
Canlı kanal sayısı/hat (KS)	300
Canlı kanal sayısı	2400
Serim yöntemi	Swath dizaynı
Atış Aralığı (SI)	20 m
Alıcı Aralığı (RI)	20 m
Alıcı hattı aralığı (RLI)	60 m
Atış hattı aralığı (SLI)	240 m
Bin size (dikdörtgen)	10x30 m
Toplam fold-C	150
Her bir alıcı noktasındaki jeofon sayısı	12
Vibratör	ION AHV-IV
Peak force	61000 pounds
Vibro sayısı	4 + 1 yedek
Sweep uzunluğu	12 sn
Sweep sayısı	4 sweep
Sweep Frekansı(Hz)	12-64 Hz.
	Non Linear -3
Sweep tipi	dB/Oct
	No move up,
Vibrator Pattern	inline
	Sercel 508 XT
Kayıt Cihazı	Wing

Şekil 5c'de, her bir atış hattı ve canlı kablo grubuna bir swath diyoruz. Bir swath boyunca atış ve alıcılar birlikte hareket ederler. Bir atış ilerlediğinde spread de bir alıcı ilerler. Atış devamlı alıcıların ortasında olacak şekilde

ilerler. Denizde ise gemi çektiği için atış hep alıcıların önünde, yani çekerek off-end atış şeklindedir.

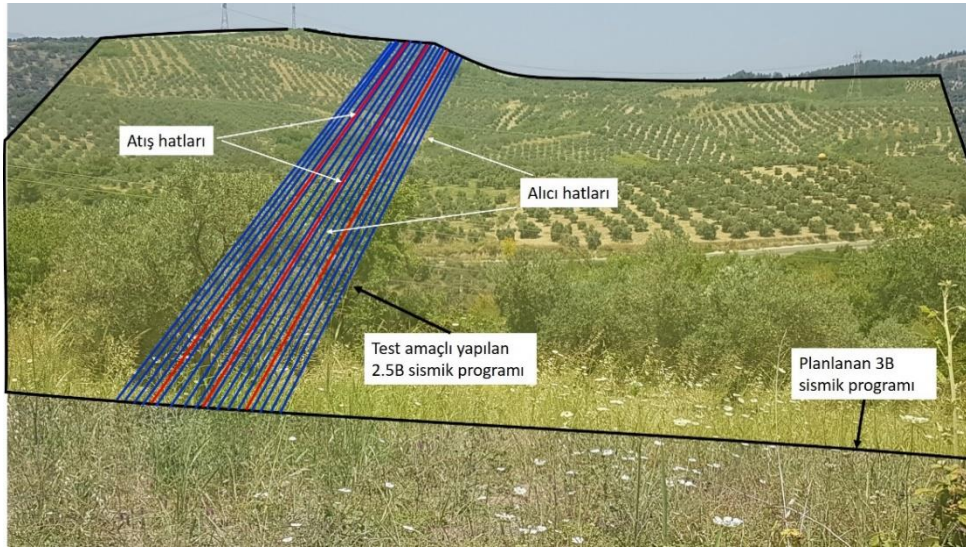
2.5B sismik yöntemin deniz 3B sismiğinden bir farkı da budur. 2.5B sismikte atış hep ortada olacak şekilde planlanmıştır. Hattın başında ve sonunda yarım spread ile başlar ve biter. Bu haliyle de normal 3B sismik veri toplama tekniğine benzemektedir.

Şekil 6'da, sahada 2.5B sismik yöntemi ile toplanan verinin 2B ve 3B sismik şekline dönüşümü gösterilmiştir. Şekil 6a'da bir swath'ın tamamı görülmektedir. Şekil 6b'de, Şekil 6a'da verilen atış ve alıcı noktaları daha yakından gösterilmiştir. Şekil 6c'de yer içindeki 2B sismik hatlar görülmektedir (katlama sayısına göre renkli). Şekil 6d'de ise yer içindeki 3B sismik alanının bir kısmı görülmektedir.

Şekilde de görüldüğü gibi, 2.5B ile toplanan sismik veri, istenirse 2B sismik şeklinde veri işlemi yapılabilir. Bu durumda 30'ar metre aralıklarla yan yana 2B sismik hatlar elde edilmektedir. 2.5B ile toplanan sismik veri, istenirse de 3B sismik şeklinde veri işlemi yapılabilir. Bu durumda ise 3B küp veri elde edilmektedir.

Şekil 7a'da 2.5B sismik 3 swath'lık atış ve alıcı hatları görülmektedir. Mavi renkli hatlar alıcı ve kırmızı hatlar ise atış hatlarını göstermektedir. Şekil 7b'de, 3 swath'lık bir 2.5B sismik program 2B sismik hatlar şeklinde görülmektedir. 3 swath'da 3 adet atış ve 16 adet alıcı hattı bulunmaktadır. Her bir swath'da 1 atış hattı ve 8 alıcı hattından kayıt alınmaktadır. Bu çalışma sonucunda, toplamda 30'ar metre aralıklarla 24 adet 2B sismik hatlar oluşmaktadır.

Şekil 7c'de, aynı 3 swath'lık bir 2.5B sismik program 3B sismik şeklinde görülmektedir. 3 swath'da 3 adet atış ve 16 adet alıcı hattı kayıt için kullanılmaktadır. Her bir swath'da 1 atış



Şekil 8. Test amaçlı yapılan 2.5B sismik programı

Figure 8. The 2.5D seismic program for testing purposes

hattı ve 8 alıcı hattından kayıt alınmaktadır. Bu çalışma sonucunda, 3 swath birleştirilerek birlikte veri işlemi yapılmakta ve 3B küp veri elde edilmektedir.

2.5B katlama sayısı hesabı aşağıdaki gibidir. Deniz 3B katlama sayısı hesabına benzer bir şekilde hesaplanır.

$$Cx = (KS * RI) / (2 * SI) \quad (9)$$

Burada;

C: Bir bin içindeki toplam 3B katlama sayısı,

KS: Bir hattaki canlı alıcı sayısı,

RI: Alıcı grup aralığı,

SI: Atış aralığı,

Tablo 3'e göre katlama sayısı hesaplanırsa,

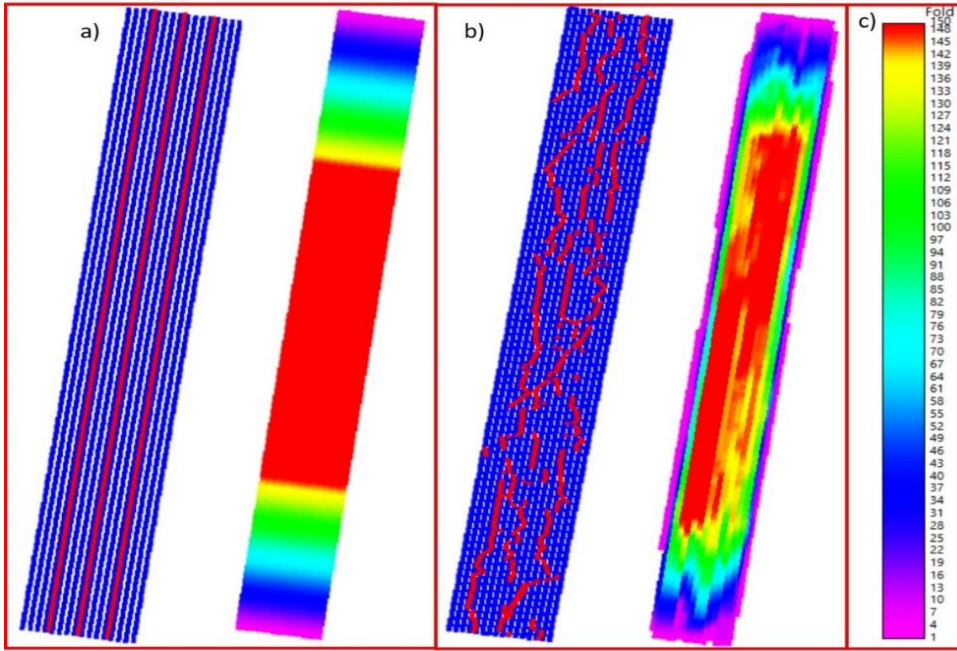
$$C = (300 * 20) / (2 * 20) = 150 \quad (10)$$

olur. Yani bir 10x30m boyutlarındaki her bir bin içinde farklı azimut ve ofsette 150 adet iz yansiyacak demektir.

2.5B SİSMİK VERİ UYGULAMASI

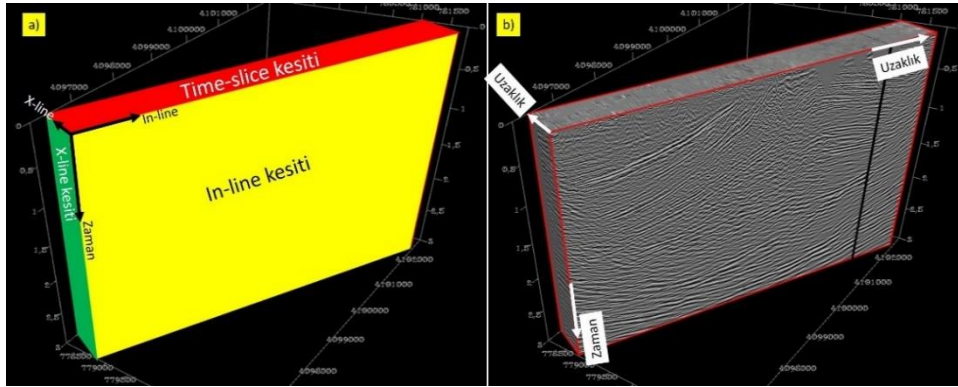
2.5B sismik yöntemi Türkiye'de ilk defa Arar Petrol AŞ tarafından Hatay'da uygulanmıştır. Bu sahada başarılı sonuçlar elde edilmesi nedeniyle daha sonra yine aynı şirket tarafından Konya-Karapınar'da uygulanmıştır. Bu yöntem ile başarılı sonuçlar elde edilmesi sonucunda, bir jeotermal şirketi için Manisa-Salihli'de daha büyük bir proje (29 swath, 9000 atış ve 45 km²) yapılmıştır. Günümüzde de 2.5B sismik veri toplama yöntemi uygulanmaya devam etmektedir.

3B sismik yapılması planlanan saha (Hatay) tamamen narenciye, zeytin ağacı ve orman alanı ile kaplıdır. Bu nedenle konvensiyonel 3B sismik veri toplama imkanı yoktur.



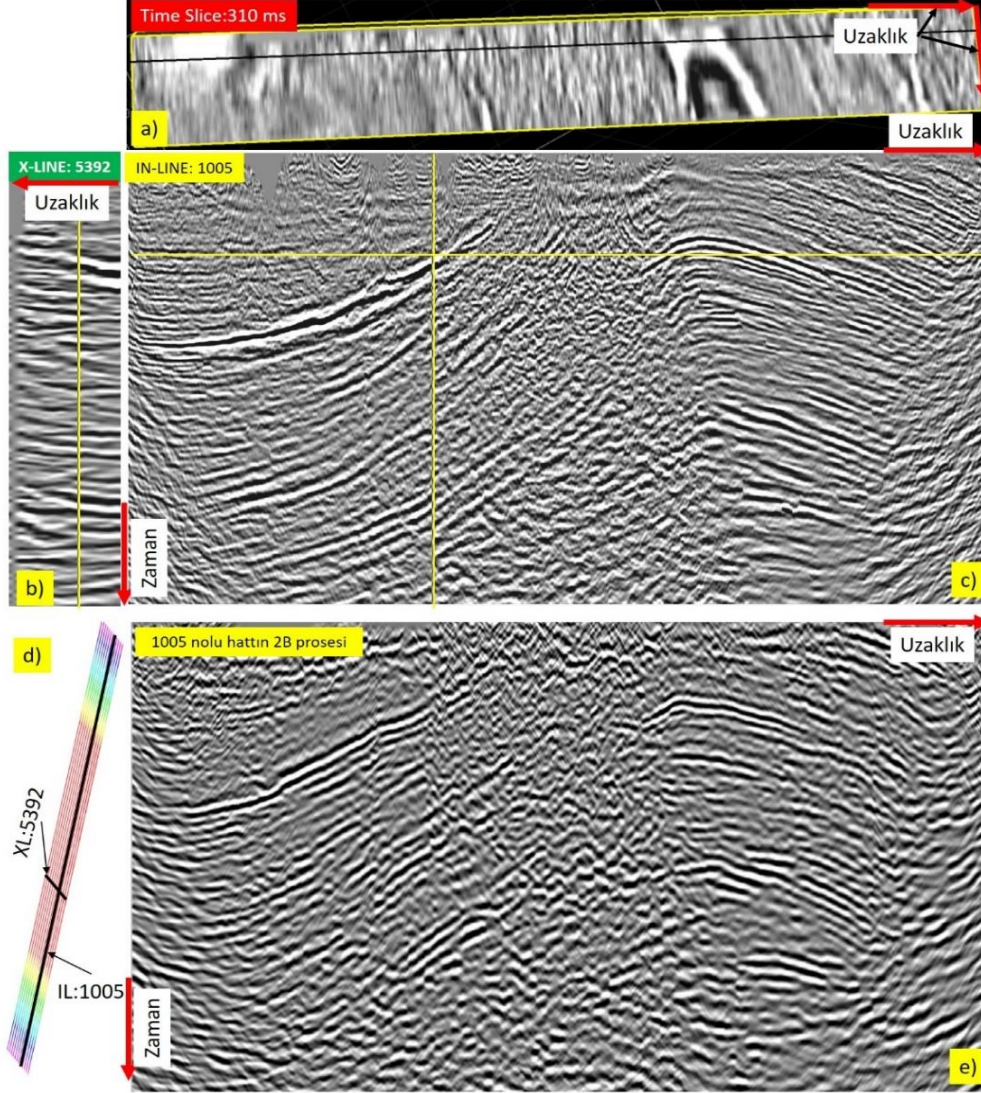
Şekil 9. a) Planlanan 2.5B sismik programı ve fold dağılımı, b) Gerçekleşen 2.5B sismik programı ve fold dağılımı

Figure 9. a) Planned 2.5D seismic program and fold distribution, b) Real 2.5D seismic program and fold distribution, c) Color scale of the fold numbers



Şekil 10. a) 3B küp üzerindeki kesit yönlerin görünüşü, b) 2.5B sismik verinin 3B küp proses şeklindeki görünüşü

Figure 10. a) A view of the section directions on the 3D cube, b) A view of the 2.5D seismic data as a 3D cube process



Şekil 11. 2.5B sismik verinin 2B ve 3B proseslerin görünüşü; a) 3B küp kesitten elde edilmiş "time slice-310 ms" kesiti, b) 3B küp kesitten elde edilmiş 5392 nolu X-line yöndeki kesiti, c) 3B küp kesitten elde edilmiş 1005 nolu In-line yöndeki kesiti, d) Sahanın 3B fold dağılımı, e) In-line: 1005 nolu hattın 2B prosesi

Figure 11. A view of the 2D and 3D process results of 2.5D seismic data; a) Time slice-310 ms section obtained from 3D cube section, b) A section of X-line -5392 obtained from 3D cube section, c) A section of In-line -1005 section obtained from 3D cube section, d) 3D fold distribution of the area and selected the section lines, e) the 2D process of In-line 1005

Konvensiyonel 3B sismik yapabilmek için ormanda ağaçları, bahçelerdeki zeytin ve narenciye ağaçlarını kesmek gerekir. Bunu yapmak imkansızdır. Bunun için 2.5B sismik tekniği ile veri toplamaktan başka seçenek yoktur (Şekil 8).

Şekil 8'de test amaçlı yapılan bir 2.5B sismik için atış ve alıcı hatları görülmektedir. Bu çalışma için Sercel 508XT Wing adı verilen kablosuz kayıt cihazı, kaynak olarak 5 adet ION AHV IV tipi vibratör kullanıldı. Test için bölgede 3 adet atış hattı (kırmızı) ve 16 adet alıcı hattı (mavi) seçildi. Sahada her bir atış hattında atış yapılırken, 8 alıcı hattında da kayıt alındı. Atışlar "symmetric split-spread" tekniği ile yapıldı her bir alıcı hattında serili 300 alıcıdan kayıt alındı. Full-spread olduğunda toplam 2400 kanaldan kayıt alındı. Her bir swath'ın ilk atışında, her bir alıcı hattında 150 kanal kayıt olacak şekilde planlandı. Daha sonra atış ilerledikçe spread içindeki canlı kanal sayısı 300 kanala çıktı. Full-spread olunca, atış ve alıcılar birlikte kayarak hattın sonuna gelindi. Her bir swath'ın spread içindeki her bir hattın kanal sayısı azalarak 150 canlı kanala gelince atışlar tamamlandı. Daha sonra ilk 4 alıcı hattı araziden toplandı ve diğer 4 alıcı hattı arazide sabit yerlerinde kaldı. Toplanan 4 alıcı hattındaki jeofonlar ve diğer ekipmanlar, sabit tutulan hatların diğer yanına serildi. Daha sonra 2.swath'a başlandı. Aynı şekilde tamamlanan 2. swath sonrası 3.swath'a başlandı ve bu şekilde tamamlandı. Böylece planlandığı gibi 3 swath'da 2.5B sismik veri toplanmış oldu. Arazi şartları nedeniyle planlanan bazı yerlerde kayıt alınamadı. Yüzeydeki engellere bağlı olarak, sağa veya sola kaydırılarak veri toplama çalışmaları tamamlandı. Şekil 8'de görüldüğü gibi arazi şartları oldukça zordur. Orman içinde yeni yollar açmadan mevcut yollar kullanılarak, tarla kenarları, mevcut köy-tarla yolları ve boş arazi kullanılarak atışlar yapıldı ve kayıtlar alındı.

Tablo 3'te detayları verilen 2.5B sismik veri toplama parametrelerine göre sahada veri toplanmıştır. Sahada toplanan 2.5B sismik veri, Tablo 4'te verilen parametrelere göre de ayrı ayrı hem 2B veri işlem hem de 3B veri işlem yapılmıştır.

Şekil 9a'da planlanan 2.5B sismik programı ve 3B katlama sayısı (fold) dağılımı görülmektedir. Şekil 9b'de ise gerçekleşen 2.5B sismik programı ve 3B katlama sayısı (fold) dağılımı görülmektedir. Şekil 9b'de görüldüğü gibi atışlar planlandığı gibi olmayıp, mevcut yollarda atışlar yapılmıştır. Bunun sonucunda fold dağılımı da planlandığı gibi değil ama kabul edilebilir bir seviyede gerçekleşmiştir.

3B küp şeklindeki veri işlemi yapılmış sismik verinin alıcı yönünde (in-line), alıcıya dik yönde (x-line) ve zaman seviye kesitleri (time slice) alınabilmektedir. Şekil 10a'da, 3B küp verinin in-line, x-line yönleri ve zaman seviyesi (time slice) kesitlerinin nasıl olduğu gösterilmiştir. Şekil 10b'de, sahada toplanan 2.5B sismik verinin Tablo 4'e göre veri işlemi (Yığma Öncesi Zaman Göç İşlemi (Pre-Stack Time Migration-PSTM) yapılmış haliyle 3B küp veri şeklinde görülmektedir.

Şekil 11'de, 2.5B sismik verinin 2B ve 3B küp veri işlem sonuçları görülmektedir. Şekil 11a'da, 3B küp kesitten elde edilmiş "time slice-310 ms" kesiti görülmektedir. Şekil 11b'de, 3B küp kesitten elde edilmiş 5392 numaralı x-line yönündeki kesit, Şekil 11c'de 1005 numaralı In-line yönündeki kesit görülmektedir. Şekil 11d'de, sahanın 3B fold dağılımı görülmektedir. Şekil 11e'de ise In-line: 1005 numaralı hattın 2B veri işlemi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi aynı 2.5B sismik veriden hem 2B hem de 3B sismik kesit elde edilmiştir. 2B ve 3B küp kesitlerindeki farklılık, veri işlem aşamasında kullanılan veri işlem uygulamalarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. 2.5B Veri işlem iş akışı**Table 4.** 2.5B Data processing workflow

2.5B Veri İşlem İş Akışı		
	2B veri işlem iş akışı	3B veri işlem iş akışı
Veri işlemin yapıldığı yer	Arar AŞ (Ankara-Türkiye)	Hardin Inc.(Teksas-ABD)
SegY formatında veri okuma	+	+
Geometri	2B geometri	3B geometri
Edit işlemi	+	+
Genlik düzeltmesi	+6dB/Oct	T ^{1.2}
Surface Consistent Predictive Dekonvolüsyon	OPLEN: 164ms GAP: 32ms	OPLEN: 164ms GAP: 32ms
Statik	2B tomografi	3B tomografi
Hız analizi -1	2B hız analizi	3B hız analizi
Rezidüel statik-1	2B Rezidüel	3B Rezidüel
Hız analizi -2	2B hız analizi	3B hız analizi
Rezidüel statik-2	2B Rezidüel	3B Rezidüel
Normal Move Out (NMO)	+	+
Mute işlemi	Stretch faktörü %25	Stretch faktörü %30
Genlik dengeleme (AGC)	500 ms	500 ms
Averaj statik uygulama ile final datuma çekme	Final Datum (0m)	Final Datum (0m)
Prestack Kirchhoff Time Migration (PSTM) işlemi	2 boyutlu	3 boyutlu
PSTM hız analizi	2B hız analizi	3B hız analizi
PSTM kesiti	2B yağma işlemi	3B yağma işlemi
Band Geçişli Süzgeç	12-18-60-72 Hz (0-2000ms) 8-18-36-72 Hz (2500-5000 ms)	8-12-65-75 Hz (0-700ms) 8-12-55-65 Hz (1000-1400 ms) 8-12-40-50 Hz (1700-5000 ms)
FX Decon	8-72 Hz	--
F-K Süzgeci (Fan)	-4, 4, ms/iz, 12, 60 Hz	--
Eğim Azimuth süzgeci	--	Pencere uzunluğu: 40 ms Maksimum eğim: 12 ms/iz
Genlik dengeleme (AGC)	500 ms	1000 ms
Çıktı verisi (SegY format)	24 adet 2 boyutlu sismik kesit	1 adet 3 boyutlu küp kesiti

SONUÇ

Arazi şartlarının 3B sismik yapmaya uygun olmaması durumunda 2.5B sismik yöntemi uygulanabilir. Atış ve alıcı hatlarının aynı yönlü olması sismik veri toplama işini kolaylaştırmaktadır. Sahanın 3B sismik veri toplama için uygun olmasa bile, 2.5B sismik yöntemi ile 3B sismik veri elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. 2.5B ile toplanan aynı veri kullanılarak hem 2B hem de 3B veri işlem yapılabilir. 2.5B veri toplama yöntemiyle toplanmış veri, alıcı hatlarına göre ayrılıp 2B veri işlem yapılabilir. Bu aşamada veri işlem 2B iş akışı uygulanır. Ters evrişim, statik, hız analizleri, göç işlemi gibi bazı veri işlem aşamaları 2B iş akışına göre uygulanır. Veri işlem aşamasında veri ofsetli de olsa aynı alıcı hattından kayıt edilen verinin hepsi veri işleme girer. 2B göç işlemi yapıldığında veri gerçek yansıma noktasına tam taşınmayabilir. 2.5B veri toplama yöntemiyle toplanmış veri birleştirilip 3B veri işlem yapılabilir. Bu aşamada veri işlem 3B iş akışı uygulanır. Ters evrişim, statik, hız analizleri, göç işlemi gibi bazı veri işlem aşamaları 3B iş akışına göre uygulanır. Bu veri işlem aşamasında veri ofsetli olması durumunda başka bir bin (dalganın yansıdığı hücreler) içinden yansıyacak olması nedeniyle alıcı hattının olduğu bin'lerin içine girmeyecek, atış ve alıcının ortasındaki bir bin'e girecektir. 3B göç işlemi yapıldığında veri gerçek yansıma noktasına tam taşınacaktır. Böylece yorumcu isterse 2B şeklinde isterse 3B şeklinde yorum yapabilecektir. Bu işlem yorumcu için bir avantajdır. Normal bir 3B sismik veriden 2B veri işlem yapılamamaktadır.

Hatay'da yapılan örnek çalışma da 2B veri işlem Arar Petrol AŞ Veri İşlem Merkezi'nde (Ankara-Türkiye) yapılmıştır. 3B veri işlem ise Hardin International Processing Inc. (Teksas-ABD) şirketinde yapılmıştır. Tamamen

birbirlerinden bağımsız veri işlem aşamaları belirlenmiş, veri işlem iş akışı oluşturulmuş ve veri işlem yapılmıştır. Kesitler incelendiğinde veri kalitesinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 2B ve 3B kesitleri karşılaştırıldığında veri işlem parametrelerine bağlı değişiklikler vardır. 2B verinin kalitesi ve sinyal-gürültü oranı daha yüksek olduğu, 3B verinin ise ayrımlılığın daha iyi olduğu görülmektedir. Veri işlem parametrelerindeki farklılıklar Tablo-4'te verilmiştir. Hem 2B hem de 3B veride yapısal uyumluluk oldukça iyidir.

Yöntemin dezavantajı ise bin boyutu alıcıya dik yönde yani x-line yönünde geniş olmaktadır. Diğer bir dezavantajı ise alıcı hatlarının aralığının küçük seçilmesidir. Bunun sonucunda çok fazla alıcı hattı ve alıcı noktasına ihtiyaç vardır. Bu da maliyeti artırmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu test çalışmasında kullanılan saha verisinin kullanılmasına izin verdiği için ARAR Petrol A.Ş.'ye (Türkiye) teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Aslaner, W.L., 1973. İskenderun - Kırıkhan, bölgesindeki ofiyolitlerin Jeolojisi ve petrografisi : MTA Yayını, 150, 78 s.
- Atan, O.E., 1969. Eğribucak - Karacaören (Hassa)-Ceylanlı - Dazevleri (Kırıkhan) arasındaki Amanos dağlarının jeolojisi: MTA. Yayın., 139,85 s.
- Atlı, A., 2010. Yer altı suyu (YAS) kirlenme potansiyelinin, CBS tabanlı drastic modeli kullanılarak belirlenmesi ve Erzin ovası YAS hassasiyet haritalarının geliştirilmesi, CU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 189 sayfa.

- Başar, S., Gürel, O., Seymen, T., Sefunç, A., ve Gürpınar, S., 2001. Engebeli sahalarda 3D sismik veri toplama çalışmaları, Türkiye 13. Uluslararası Petrol Kongresi ve Sergisi, Ankara-Türkiye, Özetler kitabı.
- Cordson, A., Galbraith, M. and Peirce, J., 2000. Planning land 3-D seismic surveys, SEG., 204. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists.
- Davies, R.J., Cartwright, J.A., Stewart, S.A., Lappin, M. and Underhill, J. R., 2004. 3D seismic technology: Application to the exploration of sedimentary basins. Geological Society, London, Memoirs, 29, 1-9. 0435-4052/1041515 9 The Geological Society of London 2004.
- Doyuran, V., 1982. Erzin ve Dörtöl ovalarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Ankara, C 25, 151-160.
- DSİ, 1974. Dörtöl-Erzin ovası hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Daire Başkanlığı, Ankara.
- Ekinciöğlü, E.E., Gürel, O., ve Demirkol, A., 2005. Üç boyutlu sismik saha program tasarımlarının karşılaştırılması, Türkiye 15. Uluslararası Petrol kongresi ve Sergisi (IPETGAS2005), Program ve Sunu Özetleri.
- Galbraith, M., 2001. 3D Seismic surveys – past, present and future, Recorder, CSEG, Canadian Society of Exploration Geophysicists, Vol. 26, No. 06.
- Gürel, O., ve Kayıran, T., 2001. 2D-3D marine seismic data acquisition, 14. International Geophysical Congress and Exhibition Ankara/Turkey.
- Gürel, O., 2005. Comparison of 3-D seismic survey designs, 15. International Petrol Congress and Exhibition 2005/Ankara /Turkey.
- Gürel, O., ve Alpay, S.F., 2021. 2.5D sismik yöntemiyle veri toplama ve veri işlem çalışması: Hatay çalışması, Türkiye IV. Bilimsel ve Teknik Petrol Kongresi, Bildiriler kitabı, sayfa:688-693.
- Karahanoğlu, N., Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Emekli, R, ve Hallaji K., 1995. Kıyı Akiferlerindeki Tatlı su-Tuzlu su Girişiminin Sonlu Elemanlar Benzetim Yöntemi. İle Modellenmesi. Tübitak Projesi, No: YBAG-0074, ODTÜ, Ankara.
- Sakallıoğlu, Y., Gönülalan, U., and Sefunç, A., 1997. Seismic exploration activities in Turkey, problems and suggested solutions, Presented for Istanbul'97 SEG/JFMO Conference and Exhibition, Abstract of papers, page 68.
- Sakallıoğlu, Y, Gürel, O, ve Başar, H. S., 2012. Vibrosismik kitabı. Altan Özyurt Matbaacılık Ltd.Şti. Ankara, 396 sayfa.
- Sakallıoğlu, Y., 2017. Land seismic exploration in Turkey: where are we going? 9th Congress of the Balkan Geophysical Society, Abstracts.

Toksoy, A. Y., 2018. Diyarbakır sahasında hidrokarbon araştırılmasında üç boyutlu vibrosismik yöntemi ile veri toplama ve kaynak parametresinin seçimi, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi Cilt: 17, No: 2, 2018 (173-191).

Vermeer, G.J.O., 2012. 3D seismic survey design, Second Edition, Society of Exploration Geophysicists, 369 pages.

Yılmaz, O., 2001. Seismic Data Analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Yerbilimleri Harita Görüntüleyici), 2024.
<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>,
10.02.2024.