

İSTANBUL BOĞAZI'NDA SİSMİK ÇALIŞMALAR

Seismic Studies in the Bosphorus

Atilla ULUĞ*, Erdeniz ÖZEL* ve Günay ÇİFTÇİ**

ÖZET

İstanbul Boğazında yapılması planlanan Tüp Geçişi İnşaatı için gerekli jeolojik ve jeoteknik bilgileri toplamaya yönelik çalışmalar çerçevesinde sismik yansımaya ve kırılma etüdüleri yapılmıştır. R/V K. Piri Reis araştırma gemisinin ekipman ve Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nün elemanları tarafından gerçekleştirilen deniz araştırmalarında, geminin konumu sismik yansımaya ölçümlerinde "Trisponder Navigasyon Sistemi", kırılma çalışmalarında ise kılavuz seyri ile "Açı Kestirim Yöntemi" kullanılarak saptanmıştır.

Airgun kaynaklı sismik yansımaya çalışmalarında alıcı olarak tek kanal streamer kullanılmış ve bu şekilde sıfır açılımlı sürekli yansımaya profilleri ölçülmüştür. Böylece, ölçüm hatları boyunca değişik derinliklerdeki denizaltı katmanlarına ait yansımaya zamanları ölçülebilmştir. Sismik kırılma ölçümlerinde akustik enerji kaynağı olarak yine airgun kullanılmış ve kırılma sinyalleri sonobuoy tarafından birimlerinde kaydedilmiştir. Kırılma çalışmalarında yol-zaman grafiklerinden denizaltı katmanlarına ait ölçülen sismik hızlar ile, yansımaya çalışmalarından bulunan gidiş-geliş zamanları kullanılarak tabakaların kalınlıklarını hesaplamak mümkün olmuştur.

Bu yöntem ile bulunan tabaka kalınlıkları bölgede yapılan deniz sondajları ile karşılaştırılmış ve böylece bölgenin jeolojik ve sedimentolojik yapısı açıklanmaya çalışılmıştır. Sismik verilerden yararlanılarak oluşturulan jeolojik kesitler üzerinde İstanbul Boğazının çalşılan bölgedeki anakayasasını oluşturan Trakya Formasyonundaki faylar ve Boğaz Grabeni işaretlenerek "İstanbul Boğazı Deniz Altı Jeoloji ve Tektonik Haritası"nın geliştirilmesine katkıda bulunulmuştur.

ABSTRACT

Seismic reflection and refraction surveys have been carried out to obtain the necessary geological and geotechnical data for the proposed Tube-Tunnel crossing. The marine surveys were carried out by the staff of the Institute using the available equipment in the R/V K. Piri Reis. The position of the vessel was determined by the trisponder navigation system during the seismic surveys and the angle intersection method during the refraction studies.

Single channel streamer has been used during the seismic reflection surveys with airgun seismic source and thus, the two-way travel times were measured for the different seismic layers along the reflection profiles. Airgun was also used as the seismic energy source for the refraction surveys and the refracted signals were received by the sonobuoy and then transmitted to the telemeter system and these were recorded by the recording units of the vessel. It was possible to determine the layer thicknesses from two-way travel times obtained from the reflection records using the layer velocities calculated from the time-distance graphs of refraction surveys.

The layer thicknesses obtained from the described methods were compared with the marine borehole data in the region and then it was tried to explain geologic and sedimentologic structure of the area. The geological section drawn by means of seismic data, enabled the identification of the faults existing in the Trakya formation and the Bosphorus graben in the investigation area and contributed to the development of the sea bottom geology and tectonic map of the Bosphorus.

* D.E. Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, S.S.K. Tesisleri, D Blok, Kat: 2, Konak - İZMİR

** D.E. Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Anabilim Dalı, Bornova - İZMİR

GİRİŞ

İstanbul Boğazı'nın Sarayburnu-Üsküdar-İnadiye mevkiileri arasında, Avrupa yakası ile Anadolu yakasını Boğazın altından bağlaması planlanan Tüp Demiryolu Tüneli inşaatı için İstanbul Tren/Tünel Müşavirler Konsorsiyumu (I.R.T.C.) tarafından burada bir seri etüdler yaptırılmıştır. D.E.Ü. Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü de bu kapsamda bölgenin jeolojik, jeofizik ve jeomorfolojik yapısını incelemek amacı ile bazı etüdler yapmıştır. Bu çalışmada, Tüp Geçiti güzergahında, sedimentlerde ve bölgedeki anakayayı oluşturan Karbonifer yaşlı, kumtaşı (grovak), silttaşı, kiltası araldanmalarından oluşan Trakya Formasyonunda sismik hızları saptamak ve denizaltı katmanlarının kalınlıklarını hesaplayarak jeolojik kesitleri çıkarmak amacı ile yapılan sismik yansıma ve kırılma çalışmalarının sonuçları özetlenmektedir.

I.R.T.C. Jeoloji ve Jeoteknik Grupları bölgenin jeolojisini ayrıntılı olarak araştırmış ve bölgede bir seri deniz ve kara sondajları yapmıştır. Sondaj sonuçları ile sismik sonuçlar karşılaştırılmış ve bunların birbirlerini oldukça iyi bir şekilde destekledikleri görülmüştür.

Şekil 1'de bölgenin 1/50 000 ölçekli jeoloji haritası görülmektedir. Karadaki formasyonlar haritanın sağ tarafında verilen lejanddaki simgeler ile harita üzerine işaretlenmişlerdir. İstanbul Boğazı ve Haliç tabanındaki denizaltı formasyonlarına gelince, bunlar yaklaşık aynı tür çökeller olmasına rağmen aralarındaki farkları belirtmek amacıyla, Haliç ve Boğaziçi Formasyonları olarak adlandırılmaktadır. Haliç Formasyonu, Boğaziçi Formasyonuna kıyasla daha ince malzemenin oluşmuş olup, başlıca kil, çamur ve silt ile kum kapsamaktadır ve tabana doğru da kum ve iri çakıllı düzeylerin varlığına rastlanmaktadır (Eroskay ve Kale 1986). Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından Yeni Galata Köprüsü için yapılan sismik etüdlere ve bölgede yapılan deniz sondajlarından Haliç çökellerinin yaklaşık 50 m kalınlıkta olduğu bilinmektedir (Uluğ 1985, Eroskay ve Kale 1986).

Boğaziçi Formasyonları ise siltli kum ve kum boyundaki sedimentlerden oluşmuş olup yer yer çakıl ve kavkılı kum odacıklarından ibarettir. Boğaziçi formasyonlarının Boğaz Grabeni'nin en derin olduğu yerde yaklaşık 110-110 m'den daha kalın olduğu yapılan sismik ölçümler sonucu bulunmuştur (Uluğ 1986).

Şekil 2'deki İstanbul Boğazı Haritasında, Boğaziçi ve Trakya Formasyonlarındaki sismik hızları saptamak amacıyla kırılma çalışmalarının yapıldığı kuramsal izleme hatları ve Tüp/Tünel geçişi için, denizaltı katmanları hakkında bilgi edinmek ve Trakya Formasyonunun derinliğini ölçmek üzere sismik yansıma çalışmaları yapılan koridorlar görülmektedir. Şekildeki Romen rakamları (I ve II) "Sonobuoy"ların bağlandıkları şamandıraları göstermekte olup, harfler (A, B v.b.) ise profil adlarını belirtmektedir. Yansıma çalışmalarının yapıldığı kori-

dorlar 400 m genişliğinde ve yaklaşık 2000 m uzunluğundadır. Bunlardan güney tarafta olan 1. Alternatif, kuzeyde olanı ise 2. Alternatif Koridor olarak adlandırılmaktadır. Bu koridorlarda 50 m aralıklı 9'ar adet boyuna hat ile, 100 m aralıklı yaklaşık 16'şar adet enine hat bulunmaktadır.

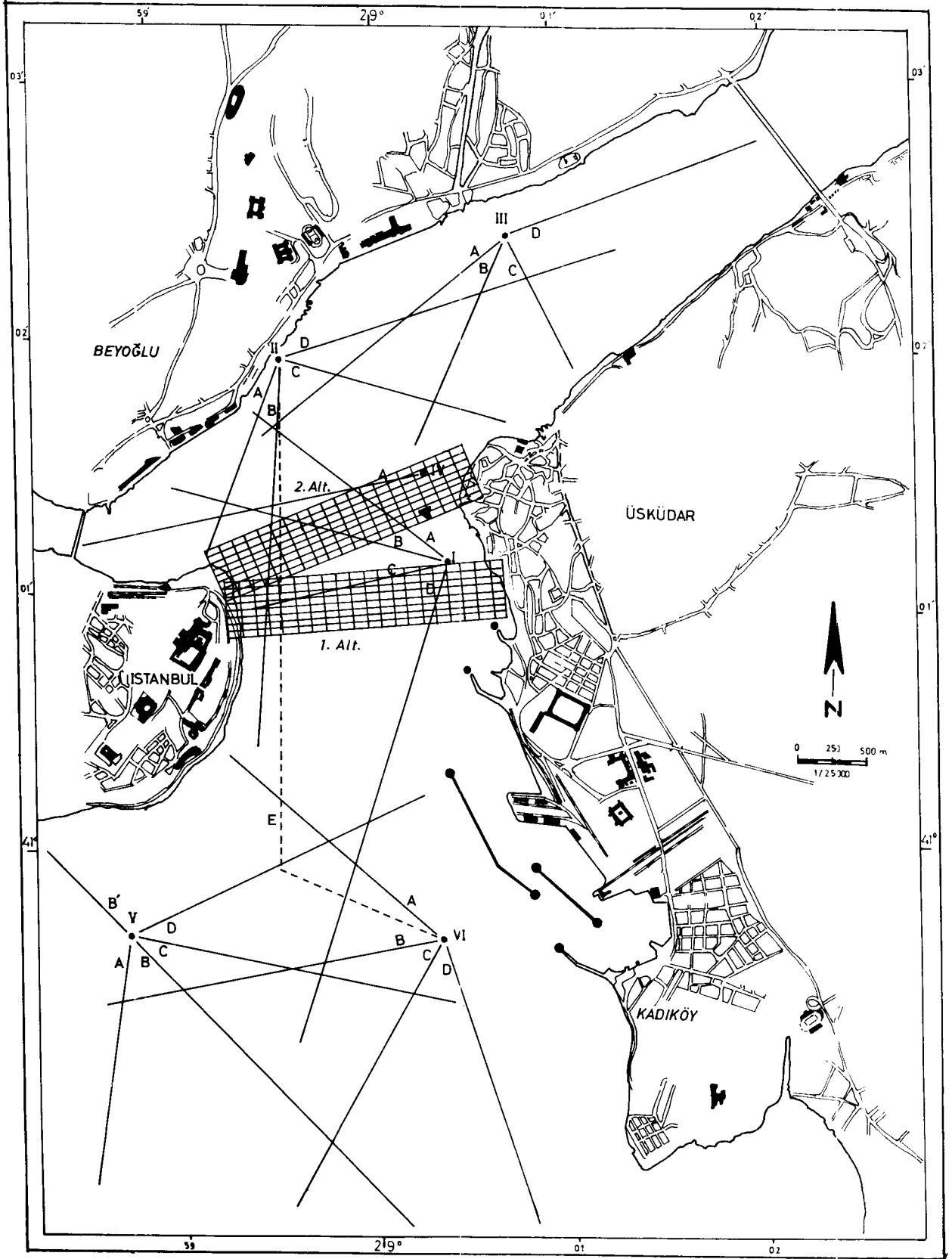
İstanbul Boğazı, özel konumu ve diğer özellikleri nedeniyle sismik kırılma çalışmaları için uygun bir bölge değildir. Bilindiği gibi denizde yapılan kırılma çalışmalarında alıcı birimi olan sonobuoy sabit, enerji kaynağı ise hareketlidir. Ölçüler, gemi durağan sonobuoydan uzaklaşırken veya ona yaklaşırken yapılmaktadır. Ancak Boğazın 2-2.5 Knot'u geçen akıntıları nedeni ile denize atılmış olan bir sonobuoyun o noktada sabit bir şekilde kalması beklenemez. Bu nedenle sonobuoyun denizdeki sabit bir şamandıraya bağlanması gerekmektedir. Ancak, İstanbul Boğazı'nda sabit bir şamandıranın atılmasına olanak bulunmadığından, bu çalışmalar için bölgede varolan şamandıralar kullanılmıştır.

Şekildeki kırılma hatları boyunca aynı zamanda sürekli yansıma ölçüleri de alınmış olup bunların değerlendirilmeleri ve kullanım yerleri daha sonra anlatılacaktır. Profiller boyunca, kontrol açısından hem sonobuoy noktasından itibaren uzaklaşırken, hem de dönerken olmak üzere ikişer ölçü alınmıştır. Bunlar arasında daha iyi kalitede olanlar değerlendirilmek üzere seçilmiştir.

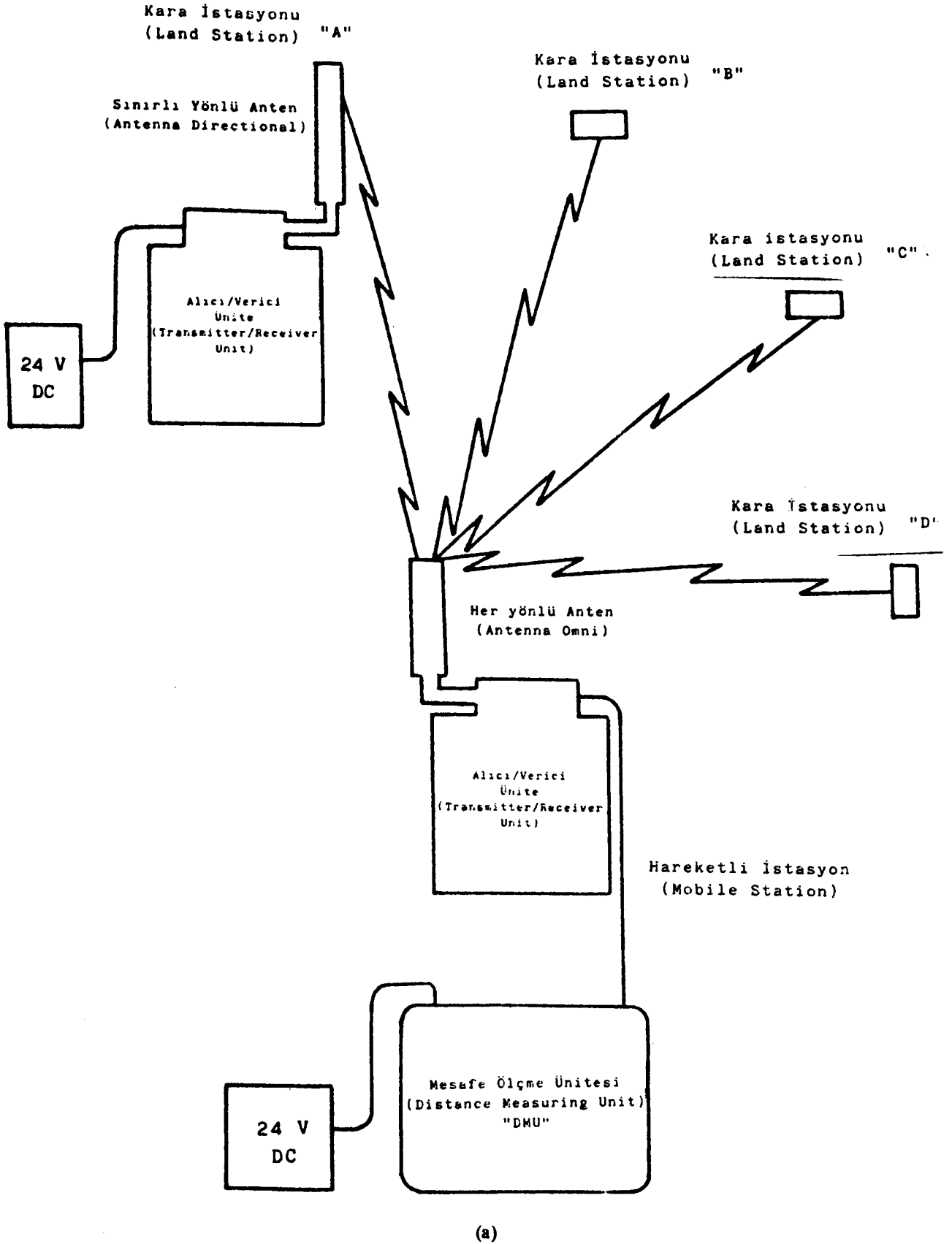
ÖLÇÜ ALIMI

Deniz araştırmalarında, özellikle jeofizik, jeomorfolojik ve zemin örnekleri alınması gibi işlemler esnasında geminin seyir ve durma anındaki konumunun doğru bir şekilde bilinmesi gerekir. Sismik yansıma çalışmalarında bu amaçla, bir hareketli istasyon ve dört kara istasyonundan (transponder) oluşan "Decca Trisponder Sistemi" kullanılmıştır. Sistem, radarlarda olduğu gibi (x) bandında sinyaller göndererek ve sayısal ölçme tekniklerini kullanarak geminin konumlarını belirli bir koordinat sistemine göre hesaplamaktadır.

Yansıma çalışmalarında kullanılan trisponder sistem grubu ve uzaklık ölçüm tekniği Şekil 3'de şematik olarak gösterilmektedir. Buradaki hareketli istasyon, kara istasyonları için kodlanmış olan pulsları sırası ile, saniyede iki defa olmak üzere gemi direğindeki her yönlü (omni) anten ile yayınlar. Kara istasyonları da gelen sinyalleri sınırlı yönlü antenleri ile alırlar ve gelen pulslardaki kodları çözerek yanıt pulslarını biraz daha farklı frekanslar ile hareketli istasyona tekrar geri gönderirler. Bu pulslar hareketli istasyon tarafından algılanarak uzaklık ölçme birimine gönderilir. Burada, geminin kara istasyonundan olan uzaklığı (s), sinyalin ölçülen gidiş-dönüş zamanı (t) ve bilinen dalga yayılım hızından (v) yararlanılarak, uzaklık ($s = v \cdot t/2$) hesaplanır, aygıt üzerindeki ışıklı sayısal göstergede okunur ve aynı zamanda bilgisayar, dört kara istasyonundan olan uzaklıkların bilinmesinden yararlanarak geminin konumunu duyarlı bir şekilde sap-



Şekil 2. Kırılma ölçülerinin alındığı profiller ve yansımaya çalışmaları için yapıldığı koridorlar.
 Fig. 2. Seismic refraction profiles and alignments for seismic reflection studies.

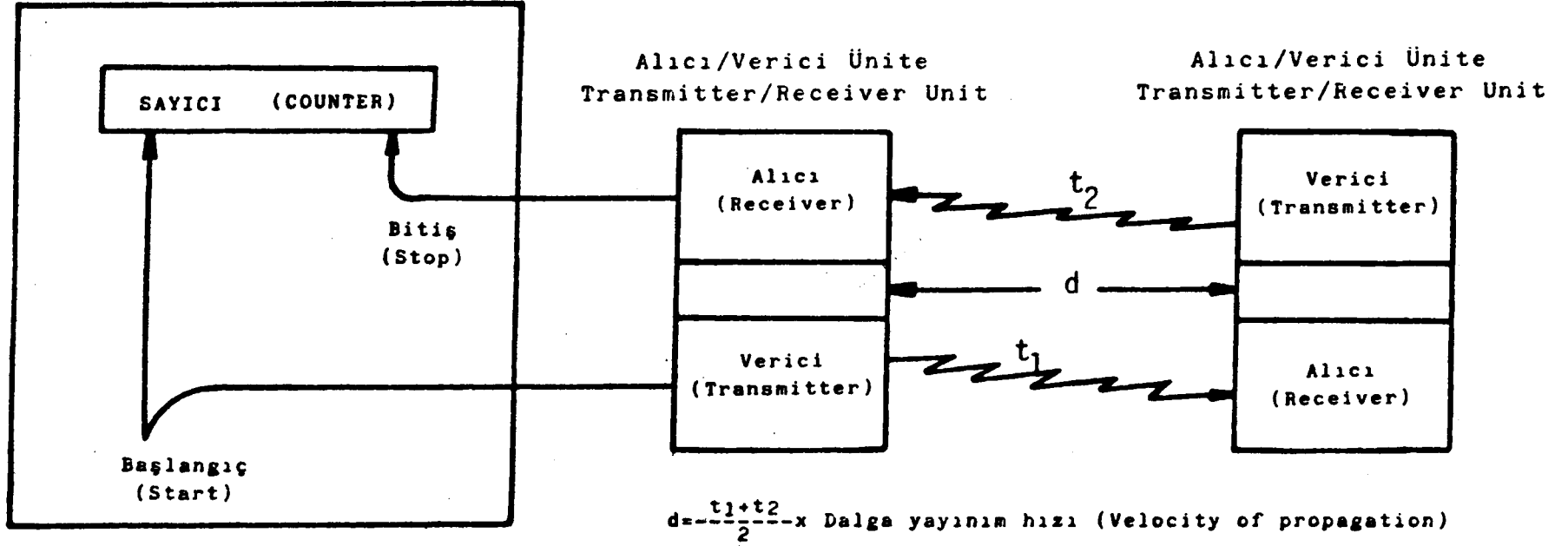


Şekil 3. a) Trisponder Sistem Grubunun şematik gösterimi. b) Trisponder Sisteminin temel prensibi.
Fig. 3. a) Schematic representation of trisponder system set-up. b) Basic principle of trisponder system.

HAREKETLİ İSTASYON
(MOBILE STATION)

KARA İSTASYONU
(LAND STATION)

Mesafe Ölçme Ünitesi
(Distance Measuring Unit)



tar, çizicide geminin seyrini harita üzerinde gösterir ve manyetik kasetlere kaydeder. Ayrıca, istenildiğinde yazıcıdan koordinat çıktıları alınabilir. Tüm yansıma çalışmalarını sırasında geminin konumu sürekli olarak hesaplanmış ve belirli aralıklarla "fix"ler alınarak kayıtlar üzerine işaretlenmiştir.

Sabit kara istasyonlarına yerleştirilen transponder antenleri yalnızca belli yönlerde ve belli açılar içerisinde yayını yapabilmektedir. Çalışma sahasındaki kırılma profillerinin uzunluğu ve dağılımı nedeniyle bütün transponderların odaklanabileceği bir bölge bulunamamıştır. Bu nedenle, sismik kırılma çalışmalarında konum belirleme işi, daha önce değinildiği gibi, "Kılavuz Seyri" yöntemi ile yapılmıştır. Geminin seyri sırasında karadaki sabit bir nokta ile geminin oluşturduğu doğrultunun kuzey ile yaptığı azimut açısı "gyro pusula" ile ölçülür. Buna göre pratik olarak bir anda bulunan iki veya daha fazla doğrultunun harita üzerindeki kesim noktası geminin konumunu vermektedir. Özellikle kıyıya yakın seyirlerde bu yöntem ile yapılan konum belirleme işi yeterli duyarlılıkla yapılabilmektedir.

Denizdeki yansıma ve kırılma çalışmalarının yapılışı Şekil 4a'da şematik olarak görülmektedir. Geminin arkasından çekilen ve belirli aralıklarla patlamalar yapan hava tabancasından yayınlanan akustik sinyallerin, su içinde ve denizaltı katmanlarında yayılıp tabaka sınırlarından yansıyıp dönenlerini algılamak için, yine gemi arkasından çekilen bir streamer birimi kullanılır. Gerek sismik yansıma ve gerekse kırılma çalışmaları sırasında, hava tabancası için kullanılan basınçlı hava yaklaşık 130 Atm olarak alınmış ve airgun odacık hacmi ise 40 inç-küb olarak seçilmiştir. Patlatma derinliği 2 m olarak seçilen airgun, her saniyede bir tetiklenmiştir. Bu şekilde, seyir sırasında gemi hızının yaklaşık 4 Knot olmasıyla her 2 metrede bir patlamalar olmuş, yani 2 metrede bir sismik kayıt alınmıştır.

Sismik yansıma çalışmalarında daha fazla ayrımlılığa ulaşabilmek için hava tabancasına "wave-shape kit" takılmış, ancak kırılma çalışmalarında ayrımlılık (resolution) yerine derine erim (penetration) yeğlenmiş ve patlamalar normal bir şekilde yapılmıştır. Böylece, kaynaktan % 30 kadar daha fazla enerjinin yayılmasına olanak sağlanmıştır (Bolt 1974).

Katmanlardan gelen dik açılı yansıma sinyallerini kaydeden alıcı birim, seri bağlanmış 8 adet hidrofondan oluşan tek kanal bir "streamer"dır. Elektriksel olarak bir seri kapasitörden oluşan bir gerilim kaynağına benzeyen hidrofondan elemanlarındaki gerilim, basınç ile doğru orantılıdır. Bu şekilde 1 Volt baz alınarak 1 mikrobar başına desibel (dB) cinsinden düşen kazanç olan duyarlılık (sensitivity) bu cihazda -63 dB/volt/mikrobar mertebindedir (E.G.G. 1977). Streamer, dümen suyunun doğrudan dalgalar üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle iskele bumbadan, hava tabancası ise sancak tarafındaki bumbadan denize verilmiştir.

Enerji kaynağından çıkan sinyallerden tabaka sınırına belli bir kritik açı ile gelenler ikinci ortama geçerek sınır boyunca alttaki tabakanın hızı ile yayılırlar. Bu sinyaller uygun kaynak-alıcı uzaklıklarında baş dalgaları (head waves) halinde üstteki tabakaya geri dönerler ve sonobuoyda bulunan hidrofondan tarafından algılanırlar. Burada, bir ön yükseltilmeden sonra modüle edilerek radyo sinyali halinde yayınlanan sinyaller, gemi direğinde mevcut anten ile alınır ve sismik telemetri birimine gelirler. Demodüle edilip ve tekrar süzülerek yükseltildikten sonra kaydedilmek üzere kayıt aygıtlarına gönderilirler (Fairfield 1981).

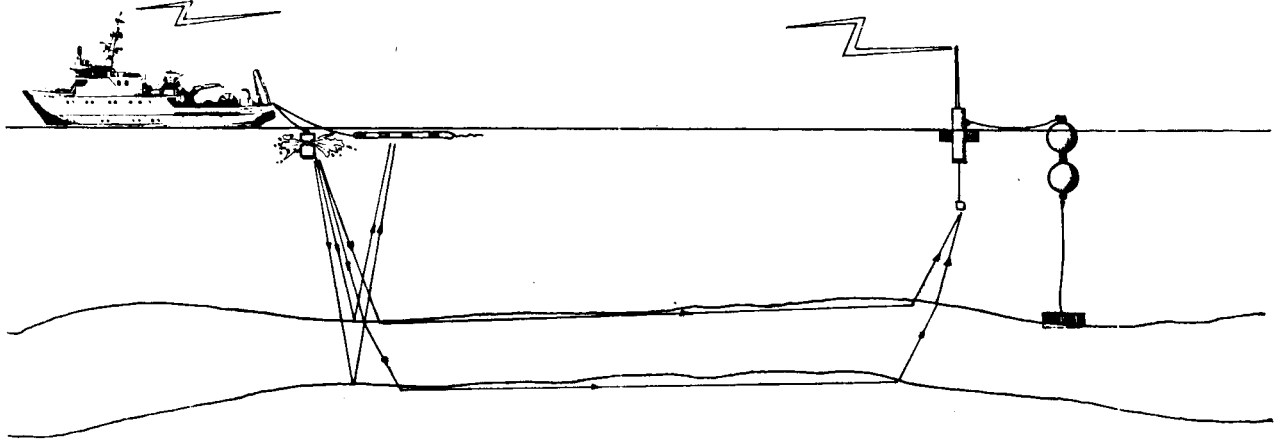
Kayıt birimlerine gelen sismik sinyaller yükseltilip süzülükten sonra elektrostatik kuru kağıt üzerine grafik olarak kaydedilirler. Ancak, verilerin daha sonra işlenmesi ve gerektiğinde defalarca değişik seçenekler ile dökümünün sağlanması amacıyla sismik veriler aynı zamanda manyetik kasetlere herhangi bir süzgeçleme yapılmadan ham veri olarak da kaydedilirler. Şekil 4b'de bu durum şematik olarak gösterilmektedir. Bu şekilde, kasetlere kaydedilen geniş-band sismik verileri arşivlenerek daha sonra yapılacak olan değerlendirmeler için saklanmaktadır.

DEĞERLENDİRMELER

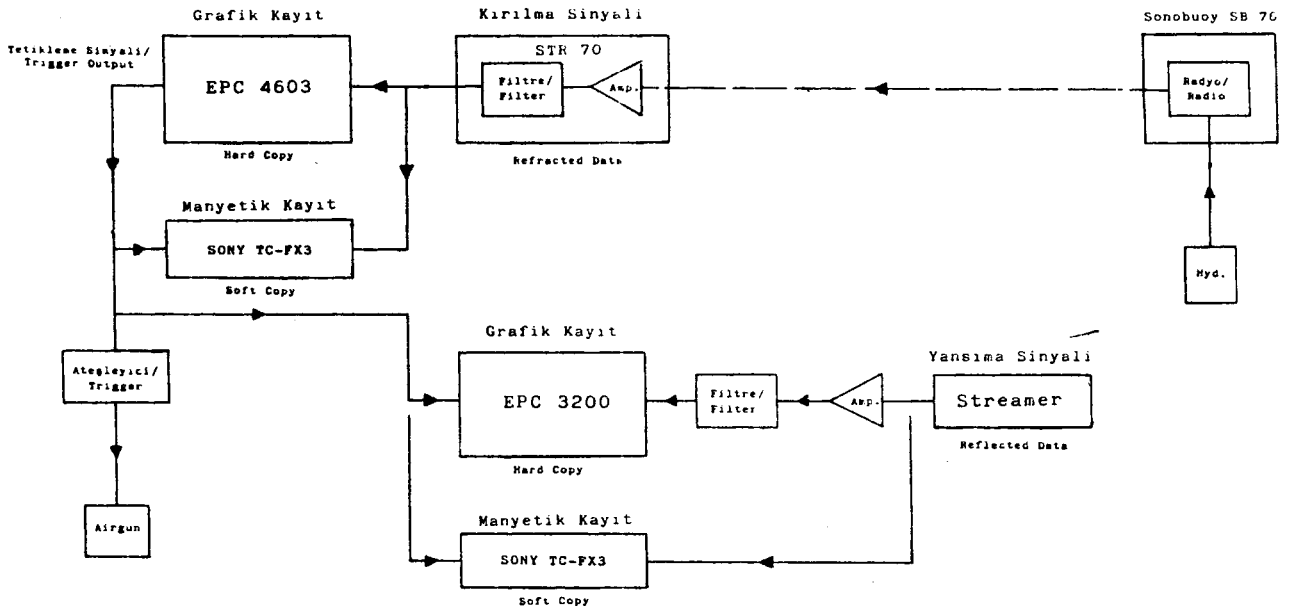
Şekil 5a'da IB profiline ait sismik kırılma grafiği (solda) ve bunun değerlendirilmesi (sağda) görülmektedir. Ölçünün giderken veya dönerken alınmasına bağlı olarak, profil adlandırılmalarında üçüncü harf G veya D olmaktadır. Şekildeki yol-zaman grafiklerinde, düşey eksen baş dalgalarının geliş zamanlarını (milisaniye), yatay eksen ise uzaklıkları (metre) göstermektedir. Tabakalara ait hızlar, bu yol-zaman grafiklerindeki kırılma doğrularının eğimlerinden doğrudan hesaplanabilmektedir. Bu değerler metre/saniye cinsinden hesaplanarak, sağdaki şekildeki kırılma doğruları üzerlerine yazılmıştır. Tabakaların eğimli olduğu durumlarda yol-zaman grafiklerinden okunan hızlar birinci tabakanın hızı dışında, görünür hızlardır. Bunların belli bir şekilde düzeltilmeleri ve gerçek hızların hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama, eğim-aşağı ve eğim-yukarı dediğimiz karşılıklı atışların yapılması ile olanaklı olmaktadır. Ancak, İstanbul Boğazı'nda yapılan kırılma çalışmalarında, yoğun Boğaz trafiği, sabit şamandıraların atılmaması ve akıntıların yarattığı zorluklar nedeniyle karşılıklı atışlar yapılamamıştır. Gerçek hızların hesaplanmasında gerekli olan tabaka eğimlerinin saptanması için kırılma çalışmalarlarıyla birlikte, sürekli yansıma verileri de alınmıştır. Bunların yapılışı ve hesaplamada kullanılan analitik bağıntılar Şekil 6'daki simgeleme ile aşağıda verilmektedir.

$$V_2 = V_1 / \sin \beta_{12} \quad (1)$$

$$\beta_{12} = \sin^{-1} (V_1 / V_{2a}) + \theta_1$$



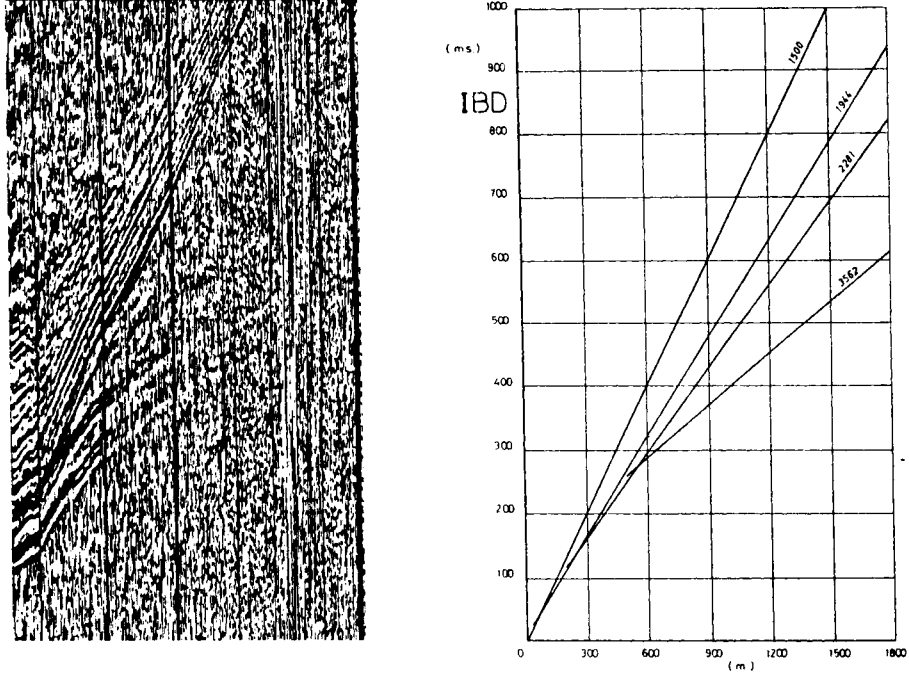
(a)



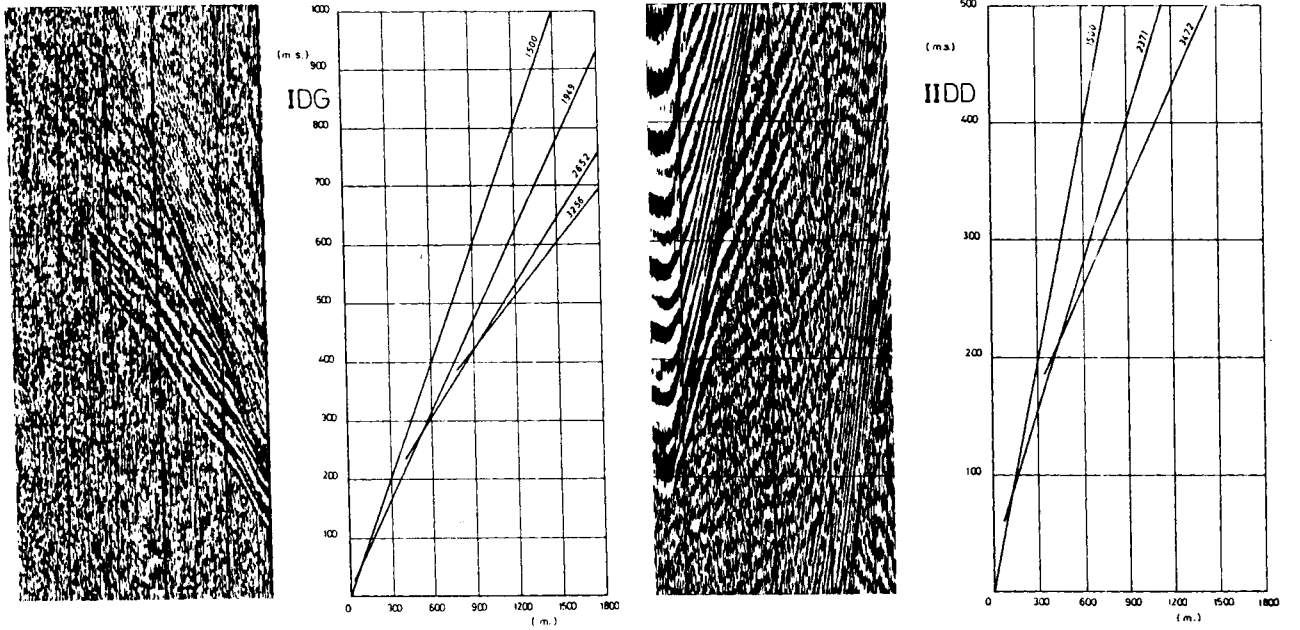
(b)

Şekil 4. a) Denizde yapılan sismik yansıma ve kırılma çalışmalarının şematik gösterimi. b) Tek-kanal sismik kayıt alım tekniği.

Fig. 4. a) Schematic representation of marine seismic reflection and refraction studies. b) Single-channel seismic recording technique.



(a)

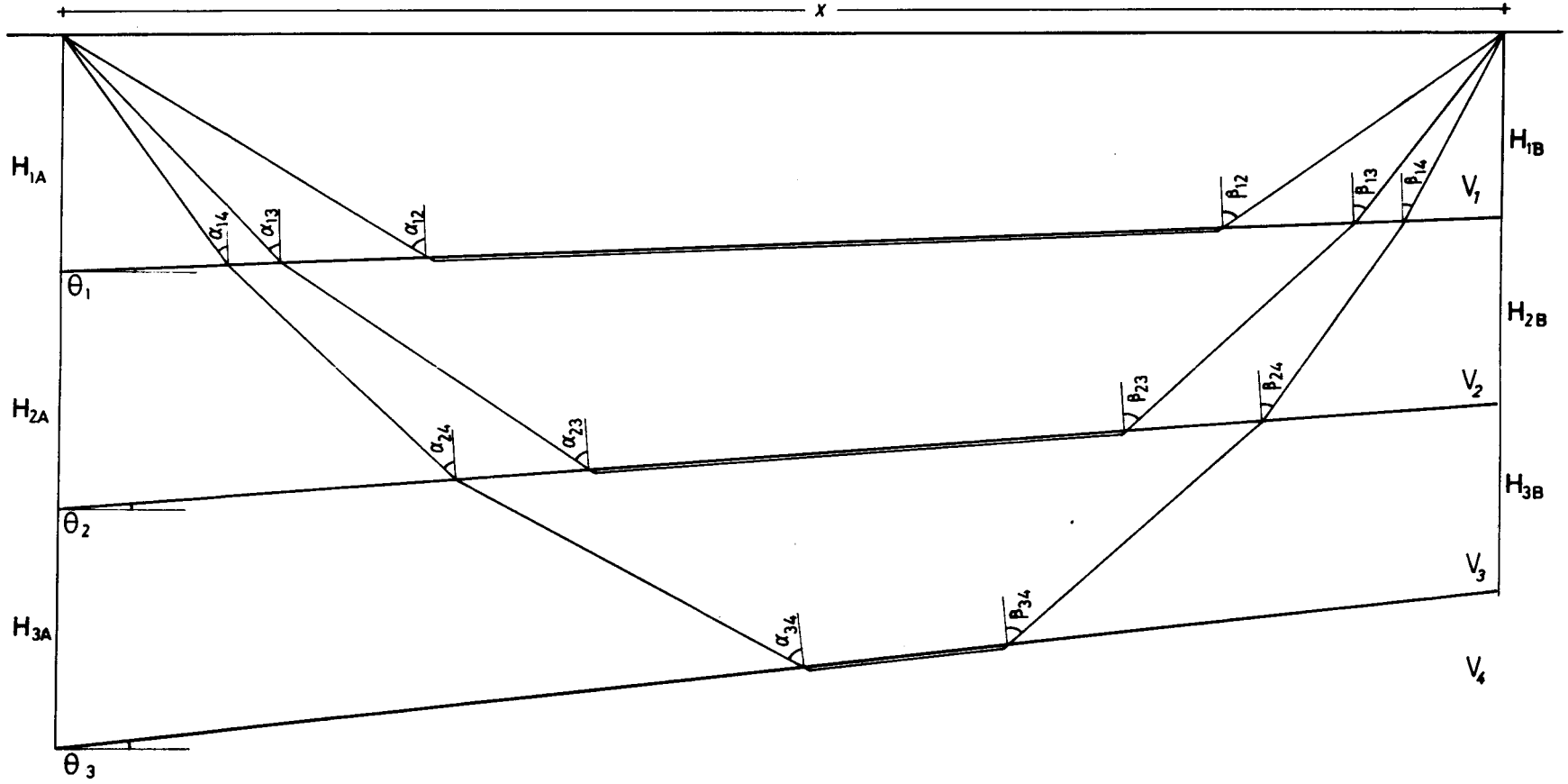


(b)

(c)

Şekil 5. a) IBD Profiline ait orijinal sismik kırılma grafiği ve bunun değerlendirilmesi (yol-zaman grafiğindeki rakamlar m/s cinsinden görünür tabaka hızlarıdır). b) IDG Profiline ait orijinal sismik kırılma grafiği ve bunun değerlendirilmesi (hızlar m/s cinsinden verilmiştir). c) IIDD Profiline ait orijinal sismik kırılma grafiği ve bunun değerlendirilmesi (hızlar m/s cinsinden verilmiştir).

Fig. 5. a) The original travel-time curve of the IBD profile and its interpretation (the figures given in the travel-time curve are apparent layer velocities in m/s). b) The original travel-time curve of the IDG profile and its interpretation (layer velocities are given in m/s). c) The original travel-time curve of the IIDD profile and its interpretation (layer velocities are given in m/s).



Şekil 6. Eğimli dört tabaka durumunun şematik olarak gösterimi.
 Fig. 6. Schematic representation of four dipping layer case.

$$V_3 = V_2 / \sin \beta_{23} \quad (2)$$

$$\beta_{13} = \sin^{-1} (V_1 / V_{3a}) + \theta_1$$

$$\beta_{23} = \sin^{-1} (\sin \beta_{13} / \sin \beta_{12}) + (\theta_2 - \theta_1) .$$

$$V_4 = V_3 / \sin \beta_{34} \quad (3)$$

$$\beta_{14} = \sin^{-1} (V_1 / V_{4a}) + \theta_1 ,$$

$$\beta_{24} = \sin^{-1} (\sin \beta_{14} / \sin \beta_{12}) + (\theta_2 - \theta_1) ,$$

$$\beta_{34} = \sin^{-1} (\sin \beta_{24} / \sin \beta_{23}) + (\theta_3 - \theta_2) . \quad (3)$$

Burada, V_1 , V_2 , V_3 ve V_4 gerçek tabaka hızlarını, V_{2a} , V_{3a} ve V_{4a} ise yol-zaman grafiklerinden okunan görünür tabaka hızlarını simgelemektedir. θ_1 , θ_2 ve θ_3 tabaka eğimleri ve β açıları ise "Shell Yasası"na göre hesaplanan kırılma açılarıdır.

Şekil 5b'deki örnekte IDG profiline ve Şekil 5c'de ise IIDD profiline ait ölçülen kırılma grafikleri (solda) ve bunların değerlendirilmeleri (sağda) gösterilmektedir. Düşey eksendeki zaman ölçeği aygıt üzerinden seçilebilmesine karşın, yatay (x) eksen gemi hızı ile orantılı olduğundan yatay ölçekler farklı olabilmektedir. Gemi hızı çalışmaları sırasında hemen hemen sabit tutulmaya çalışılmış, ancak yoğun Boğaz trafiği ve bölgesel olarak değişen akıntı nedeniyle bazı profillerde gemi hızının değiştirilmesi zorunda kalınmıştır. Hatta, zaman zaman ölçümler yarıda kesilmiş, profilin sabit bir hızla tamamlanabilmesi için tekrarlanması gerekmiştir.

Sismik kırılma çalışmalarında, eğimli çok tabaka problemlerini çözmek üzere gerekli bağıntılar, bunların uzun ve karmaşık olmaları nedeniyle ders kitaplarında verilmemektedir. Örneğin, Dobrin (1960) ve Jakosky (1960) eğimli iki tabaka, Heiland (1968) ise üç tabaka problemi ile ilgili bağıntılar vermişlerdir. Eğimli çok tabaka problemleri için temel bağıntılar ve yöntemler bazı özel çalışmalarda bulunabilmekte (Palmer 1980) ve ilgili bağıntılar benzer şekilde türetilerek çıkartılabilmektedir. Çalışma sahasında en çok dört tabaka durumu ile karşılaşıldığından analitik bağıntılar yalnızca eğimli dört tabaka durumu için verilmiştir.

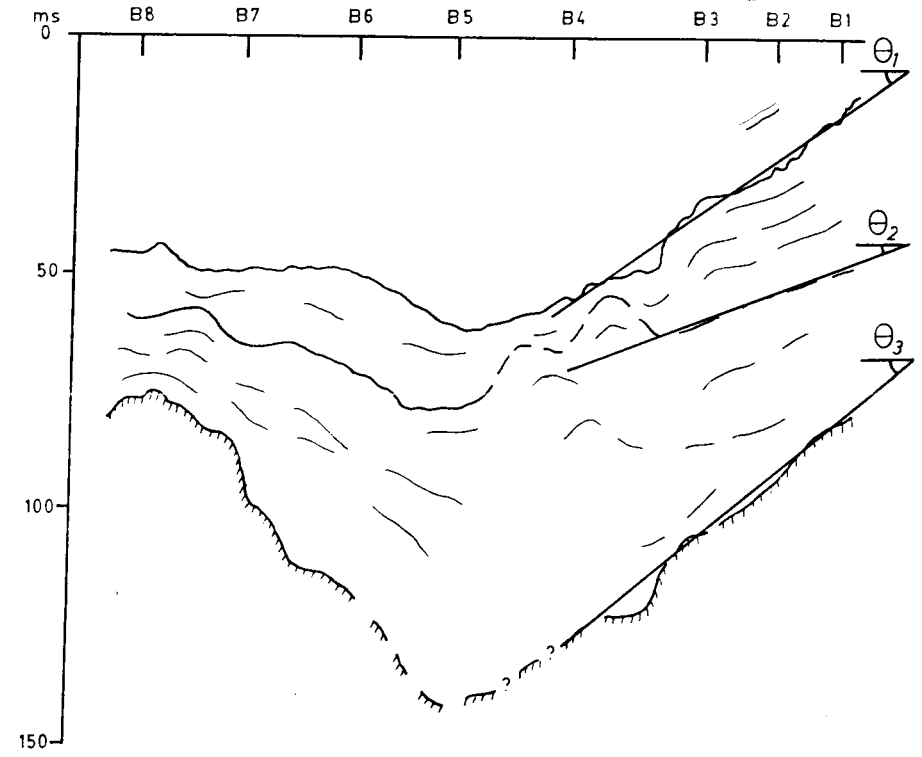
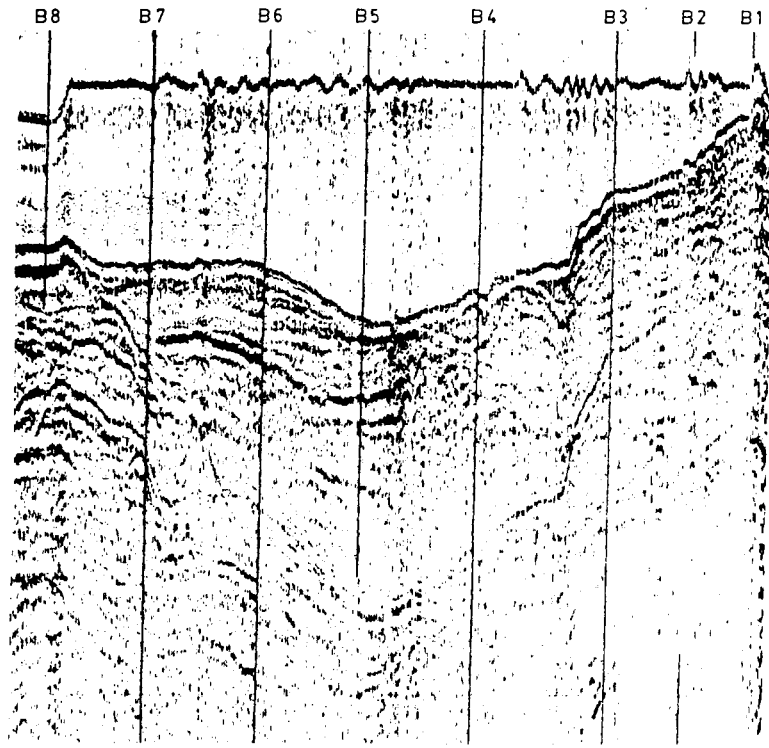
Üstteki tabakanın eğiminin ve gerçek hızının bilinmesiyle alttaki tabakanın gerçek hızının kolaylıkla hesaplanabileceği (1), (2) ve (3) no'lu bağıntıların incelenmesiyle görülebilir. İlk tabaka hızı V_1 , yol-zaman grafiklerinden doğrudan okunabilmektedir. İlk tabaka deniz çalışmalarında deniz suyu olduğundan bunun eğimi kolaylıkla bulunmaktadır. Böylece ikinci tabakanın gerçek hızı V_2 , (1) bağıntısı ile bulunur. İkinci tabakanın gerçek hızı bilinip, bu tabakanın eğimi de sürekli yansıma verilerinden hesaplanırsa, üçüncü tabakanın gerçek hızı da bulunabilir. Bu şekilde, dördüncü ve sismik verilerde farkedilebilen bütün tabakalara ait sismik hızlar, bu

işlemin sürdürülmesiyle bulunabilirler. Aslında, sürekli sismik yansıma verilerinde göç (migration) işlemi yapılmamış olduğundan bulunan tabaka eğimleri gerçek eğimler olmayıp, görünür eğimlerdir. Bu suretle hesaplanan gerçek tabaka hızlarında bir miktar yanılğı vardır. Ancak, bunlar arasındaki fark o kadar küçüktür ki, her zaman ihmal edilebilecek düzeydedir. Bir örnek olması bakımından şu inceleme yapılabilir: Gerçekte, eğimi 5° olan bir tabaka üzerinde alınan sürekli sismik yansıma kesitinden göç işlemi yapılmadan tabaka eğimi yukarıdaki yöntemle göre hesaplanmak istenirse tabaka eğimi 4.981° bulunur. Tabakanın eğimli olmasından dolayı gerçekte 2200 m/s olan tabaka hızı eğim-yukarı atış durumunda 2437 m/s gibi bir değere ulaşacaktır. Şimdi, bu görünür tabaka hızında eğim düzeltmesi yapılırken gerçek tabaka eğimi olan 5° kullanılırsa gerçek tabaka hızı, beklendiği gibi, 2200 m/s bulunur. Fakat, tabaka eğimi olarak eğer görünür eğim olan 4.981° kullanılırsa, hesaplanan tabaka hızı da 2200.78 m/s olarak bulunur. Buna göre, bulunan hızlar arasındaki hata binde 0.35 kadardır. Bu hata miktarı tabaka eğimi ve hızının artırılması durumunda da daima binde 1'in altında kalmaktadır. Ölçü alınırken, kayıtlarında ve dökümünde yapılan sistematik ve aletsel hatalar her zaman bu miktarın üzerinde kaldığından gerçek hız hesaplamasında kullanılan sürekli yansıma verilerinde bu nedenle göç işleminin yapılmasına gerek görülmemiştir.

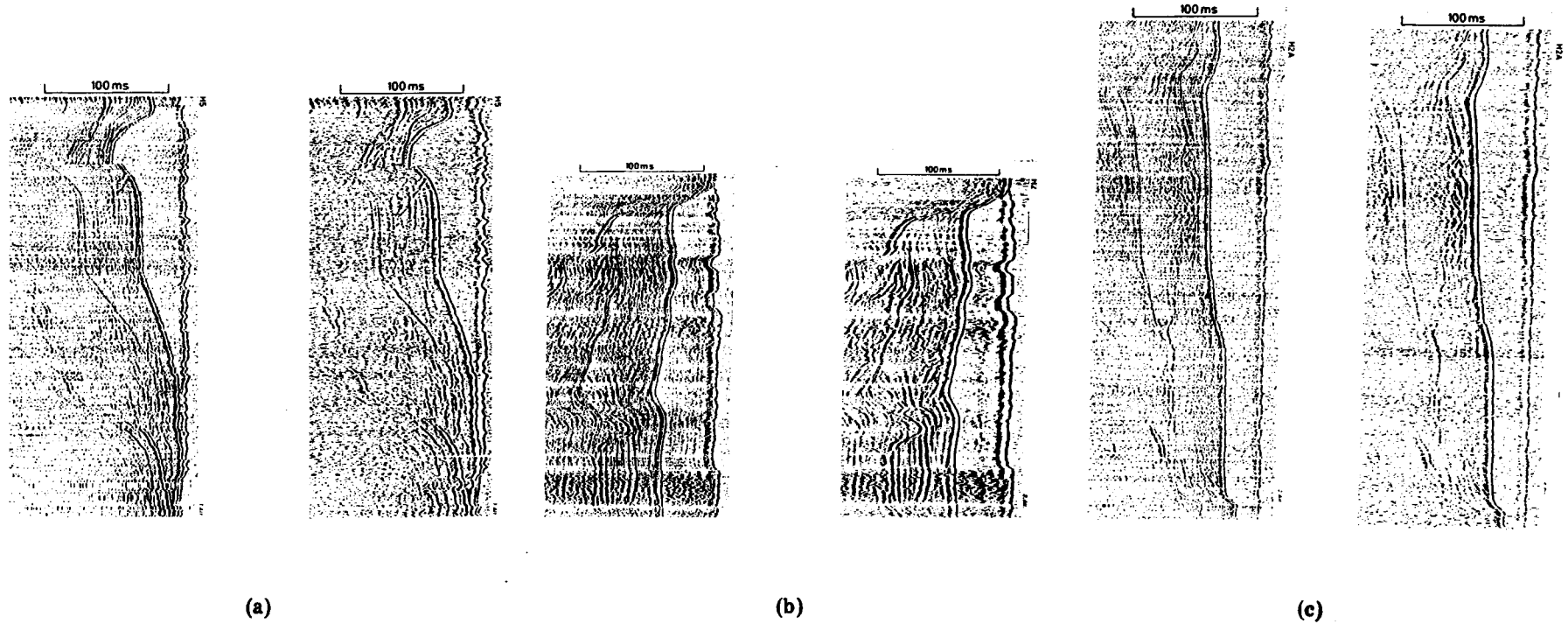
Sürekli sismik yansıma verilerinden yararlanılarak tabaka eğiminin hesaplanması Şekil 7'de gösterilmektedir. Bu verilerde yatay (x) mesafesi, başka bir deyişle sismogramlar üzerindeki "fıx"ler arası uzaklıklar metre cinsinden bilindiğinden ve eğimi hesaplanmak istenen tabakanın gerçek hızının önceden hesaplanıp bu tabaka kalınlığının (m) cinsinden hesaplanabilmesinden faydalanarak, tabaka eğimi trigonometrik bağıntılar ile açı cinsinden kolayca bulunur. Şekil 7'de verilen örnekte IBD profili için sol tarafta ham veri ve sağ tarafta ise bunun yorumu ile hesaplanan tabaka eğimleri gösterilmektedir.

Şekil 8a'da, konumları Şekil 2'de gösterilen koridorlardaki jeolojik yapının çıkartılması amacı ile yapılan sismik yansıma çalışmalarından alınan bazı veriler görülmektedir. Kesitlerden istenecek olanı, 50-500 Hz arasında süzülmuş sinyalleri, altta olanı ise 100-1500 Hz arasında süzülenleri göstermektedir. Bu veriler, Şekil 2'de görülen koridorlardan altta bulunan 1. Alternatif Koridor sahadaki 5 no'lu profile ait kesitlerdir.

Sismik enerjinin deniz tabanı ile deniz yüzeyi arasındaki tekrarlı yansımalarının giderilmesi için herhangi bir sayısal veri-işlem yapılmamıştır. Ancak, tekrarlı yansımalar kesitlerin yorumlanmasında fazlaca önemli zorluklar çıkartmamıştır. Zira, manyetik kasetlere kaydedilen ham verilerin değişik ölçekler ve frekans bandlarında dökümünün mümkün olması ile kesitler üzerinde ikinci ve üçüncü katmanlara ait gerçek yansımalar kolaylıkla görülebilmektedir. Ham verilerin kasetlerden dökümü, enerji kaynağının geniş olan fre-

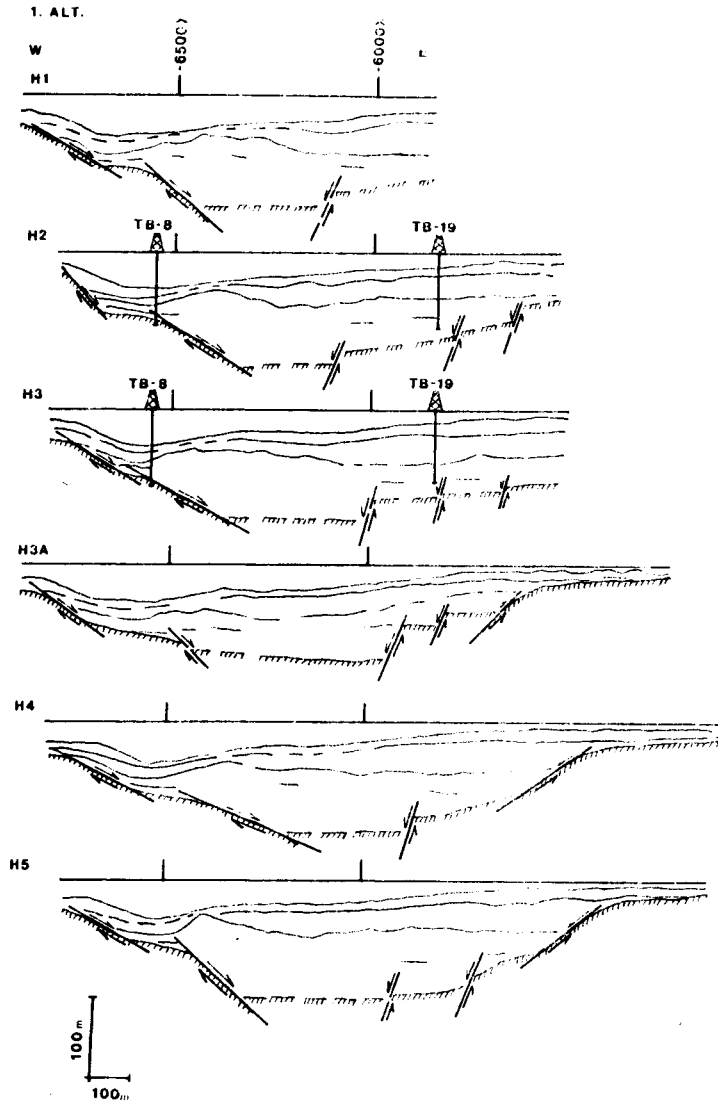


Şekil 7. IBD Profiline ait orijinal sürekli sismik yansıma kesiti ve bunun değerlendirilmesi ile bulunan tabaka eğimleri.
 Fig. 7. The original continuous reflection section of the IBD profile and the dip-angles of layers from its interpretation.

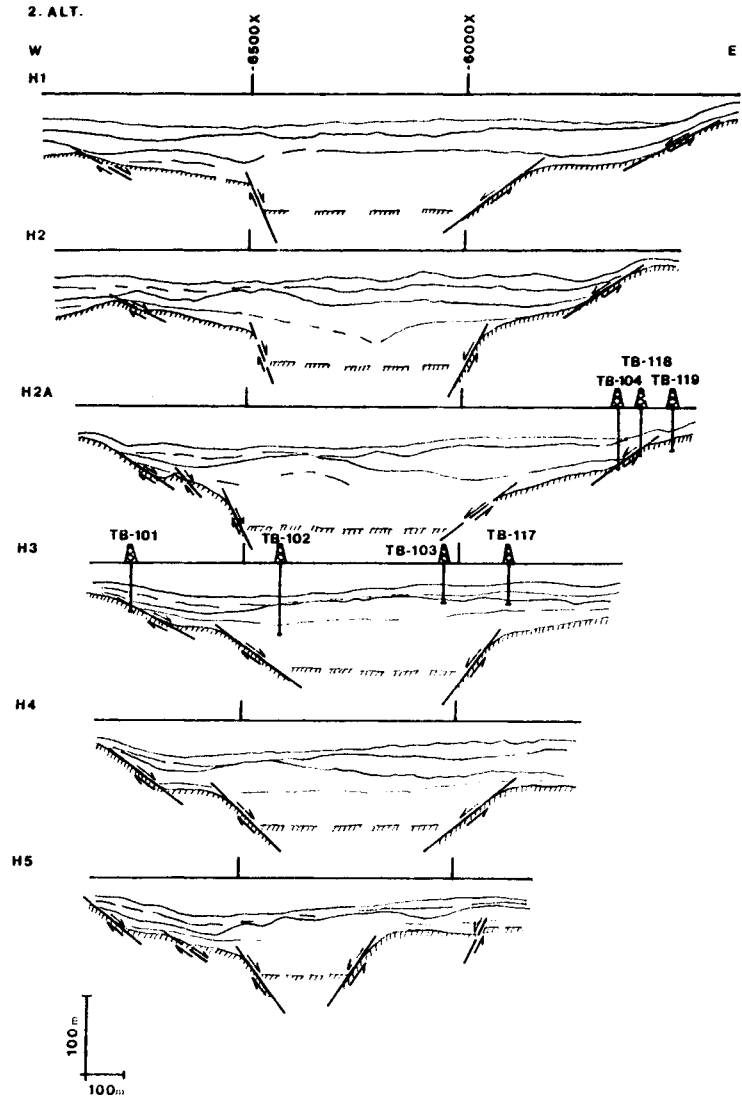


Şekil 8. a) 1. Alternatif sahanın 5 no'lu profiline ait sürekli sismik yansımalar kesitleri (üstteki kesitte sismogramlar 50-500 Hz arasında, alttaki kesitte 100-1500 Hz arasında süzölmüşlerdir). b) 2. Alternatif sahanın 2 no'lu profiline ait sürekli sismik yansımalar kesitleri (üstteki kesitte sismogramlar 50-500 Hz arasında, alttaki kesitte 100-1500 Hz arasında süzölmüşlerdir). c) 2. Alternatif sahanın 2A no'lu profiline ait sürekli sismik yansımalar kesitleri (üstteki kesitte sismogramlar 50-500 Hz arasında, alttaki kesitte 100-1500 Hz arasında süzölmüşlerdir).

Fig. 8. a) Continuous seismic reflection sections of the Profile 5 of the 1st alternative alignment (the seismograms are filtered between 50-500 Hz in the upper section and 100-1500 Hz in the lower section). b) Continuous seismic reflection sections of the Profile 2 of the 2nd alternative alignment (the seismograms are filtered between 50-500 Hz in the upper section and 100-1500 Hz in the lower section). c) Continuous seismic reflection sections of the Profile 2A of the 2nd alternative alignment (the seismograms are filtered between 50-500 Hz in the upper section and 100-1500 Hz in the lower section).



(a)



(b)

Şekil 9. a) 1. Alternatif sahadaki bazı profillerin değerlendirmelerinin toplu halde gösterimi. b) 2. Alternatif sahadaki bazı profillerin değerlendirmelerinin toplu halde gösterimi.

Fig. 9. a) Collected representation of the interpretations of some profiles from 1st alternative alignment. b) Collected representation of the interpretations of some profiles from 2nd alternative alignment.

kans bandı içinde kalmak koşuluyla, alt sınırlardan başlayarak yüksek seviyedeki frekans bandlarına kadar pek çok kere yapılmıştır. Düşük frekanslarda yapılan döküm sonucunda ince tabakalara ait ayrıntılar görülmesi de ana tabaka sınırları güzel bir şekilde ayırdedilebilmektedir. Buna karşılık yüksek frekans bandlarında yapılan döküm sonucunda ise ince tabakalara ait yansımalar farkedilebilmekte (ayrımılık daha fazla), ancak derinde bulunan katmanlardan gelen yansımalar göreceli olarak yitirilebilmektedir (derine erim az). Bu şekilde, karşılıklı avantajlardan faydalanarak en uygun yorumun yapılmasına çalışılmıştır. İyi örnekler olması bakımından burada yalnız 50-500 Hz ile 100-1500 Hz arasında süzülen dökümler verilmektedir. Şekil 8a'daki kesitlerin sol tarafında görülen atlama, kaset değişimi sırasında kaybedilen veriden kaynaklanmaktadır.

Şekil 8b'deki 2. Alternatif sahanın 2 no'lu profiline ait kesitlerden üstte olanı yine 50-500 Hz arasında süzülmuş sismogramlardan, altta olan ise 100-1500 Hz arasında süzülen sismogramlardan elde edilmiştir. Şekil 8c'de yine aynı özellikler ile 2. Alternatif sahadan alınmış 2A no'lu profile ait sismik kesitler gösterilmektedir.

SONUÇLAR

Sismik kırılma çalışmaları sonucunda elde edilen yol-zaman grafiklerinden katmanların sismik hızları saptanmış ve bölgede yapılmış olan kara ve deniz sondajları ve bölgenin jeolojisi ile dengeştirilmiştir. Sismik hızlar, deniz suyu hariç ortalama olarak 1870 m/s, 2240 m/s ve 3550 m/s olarak bulunmuştur. Bu bulgulara göre üstte kil, silt ve ince kum, bunun altında ise kum, çakıl ve bozuşmuş kumtaşından oluşan Boğaziçi Formasyonları ile altta sismik temel olarak görülen ve kumtaşı-grovak' tan oluşan Trakya Formasyonu simgelenmektedir.

Bütün yansıma kesitlerinden, yansıtıcı yüzeylere ait gidiş-geliş zamanları ölçülerek ve sismik kırılma yöntemi ile bulunan hızlar kullanılarak tabaka kalınlıkları hesaplanabilmiş olup, sonuçlardan bazıları Şekil 9a ve 9b'de toplu halde gösterilmektedirler. Kesitler üzerinde bölgede yapılmış deniz sondajları da ölçekli olarak işaretlenmişlerdir. Sismik yansıma verilerinin alınması esnasında her ne kadar gemi hızı sabit tutulmaya çalışıldı ise de, zaman zaman değiştirilmek zorunda kalmıştır. Ancak bu şekillerdeki kesitlerde yatay eksen normlandırılmış ve hepsi aynı ölçeğe getirilmiştir. Derinlik eksenine yine metre cinsinden verilmiş oyup, düşey abartma yatay ölçeğin iki katı alınmıştır.

Bölgede yapılmış olan bazı deniz sondajlarının üzerinden geçebilmek mümkün olmuştur. Bu şekilde, sondajlar ile geçilen katmanların kalınlıklarının öğrenilmesi ve sismik yansıma verilerinden bu katmanlara ait

gidiş-geliş yansıma zamanlarının ölçülebilmiş olmasından faydalanılarak hesaplanan tabaka hızlarının, sismik kırılma yöntemi ile bulunan hızların karşılaştırılması yapılmış ve bunların birbirleri ile uyum sağladıkları görülmüştür.

Şekil 9a ve 9b'deki kesitlerde Trakya Formasyonu sınırı taramalarla gösterilmiştir. Bu sınırlamadan kesin olarak görülen yerler düz çizgi ve taramalarla, gözlenemediği ancak muhtemelen var olduğu sanılan yerler ise kesikli çizgi ve taramalarla gösterilmiştir. Kesitlerde, sismik verilerde görülen faylar burada da işaretlenmiş olup bunların, İstanbul Boğazının kuzey-güney yönlü faylarla oluşan bir nehir vadisi olduğu, ya da graben olarak oluşup deniz akıntıları ile şekillendirildiği görüşlerini desteklediği görülmektedir (Scholten 1974, Pfannenstiel 1944). Kesitlerde gösterilen fayların Şekil 1'deki jeoloji haritası üzerine işlenmesiyle bölgenin denizaltı jeolojik ve tektonik haritasının geliştirilmesinde katkıda bulunulmuştur. Bu şekilde, İstanbul Boğazının diğer yerlerinde yapılan çalışmalardan da benzeri bilgilerin çıkartılarak harita üzerine işlenmesi sonucu bir gün "İstanbul Boğazı Deniz Altı Jeoloji Haritası"nın kazanılacağı kuşkusuzdur.

KAYNAKLAR

- BOLT 1974, Par Airgun, Bolt Assoc. Inc. Bulletin, Norwalk.
- Dobrin, M. 1960, Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill Book Comp., New York.
- E.G.G., 1977, Seismic Profiling Instruments and Systems for Marine Engineering Surveys, EG and G Inc. Bulletin, Waltham, Massachusetts.
- Eroskay, O ve Kale, S., 1986, İstanbul Boğazı tüp geçişi güzergahında jeoteknik bulgular, Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi Bülteni 8, 2-7.
- FAIRFIELD 1981, Seismic Telemetry Receiver, Fairfield Industries, Dallas, Texas.
- Heiland, C.A. 1968, Geophysical Exploration, Hafner Pub. C., New York.
- Jakosky, J.J. 1960, Exploration Geophysics, SEG Publications, Tulsa, Oklahoma.
- Palmer, D. 1980, The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation, SEG Publications, Tulsa, Oklahoma.
- Pfannenstiel, M. 1944, Die Diluvialen Entwicklungsstadien und die Urgeschichte von Dardanellen, Marmarameer und Bosporus, Geolog. Rundschau, Bd. XXXIV, Heft 7/8 (Sonderdruck).
- Scholten, R. 1974, Role of the Bosphorus in Black Sea Chemistry and Sedimentation-in The Black Sea, Geology, Chemistry and Biology, ed. E.T. Degens, D.A. Ross, AAPG Memoir 20, Tulsa-Oklahoma.
- Uluğ, A. 1985, Yeni Galata Köprüsü Temel Zemin Araştırması Sismik Etüdü, DBTE Raporları 052, İzmir.
- Uluğ, A. 1986, İstanbul Boğazı Tüp Geçit Projesi Sismik Etüdüleri, DBTE Raporları 054, İzmir.