

RAYLEIGH DALGASI GRUP HIZI ÇÖZÜMLEMELERİNE GÖRE DOĞU ANADOLU VE CİVARINDA KABUK VE ÜST-MANTO YAPISI

Crust and Upper-Mantle Structure Beneath Eastern Anatolia and Surrounding Area from the Analysis of Rayleigh Wave Group Velocity

Nilgün SAYIL*, İlhan OSMANŞAHİN*, Mithat F. ÖZER* ve Özer KENAR*

ÖZET

Yüzey dalgası dispersiyon verilerinin çözümlemeleri, yerkürenin kabuk ve üst-manto yapısının araştırılmasında yaygın olarak kullanılan sismolojik yöntemlerden biridir. Bu çözümlemelerde, dispersif yüzey dalgası kayıtlarından hesaplanan faz ve grup hızı değerleri, kuramsal olarak tanımlanan yapı modellerine ait faz ve grup hızı değerleriyle kıyaslanır. Kuramsal modele ait parametreler değiştirilerek, gözlemsel verilerle uyumlu sonuçlar aranır. Ters çözümleme olarak tanımlanan bu işlemler sonucunda, gözlemsel verilere en yakın sonucu veren kuramsal model aranan yapıyı belirler.

Bu çalışmada, Kafkasya'da ve Hazar Denizi'nin güney batısında oluşmuş iki depremin Kudüs istasyonuna ait Rayleigh dalgası kayıtlarından yararlanılarak, kaynak-istasyon arası profiller için kabuk ve üst-manto yapısı araştırılmıştır. Bu amaçla, önce kayıtlar üzerinden Ardışık Süzgeç Tekniği (Multiple Filter Technique) ile grup hızları hesaplanmıştır. Sonra, Kirpi (Hedgehog) Yöntemi kullanılarak ters çözümleme ile kabuk ve üst-manto yapısı belirlenmiştir. Aynı hız değerli, fakat farklı kalınlıklardaki üç tabakalı kabuk yapısı modelleri, her iki profile ait grup hızı dispersiyon verilerine göre uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu modellerdeki toplam kabuk kalınlıkları 36 ve 38.5 km civarındadır. Daha doğuda kalan profil için bulunan kabuk kalınlığı daha büyüktür. Buna göre, kabuk kalınlığının doğuya doğru artmakta olduğu söylenebilir. Burada elde edilen P_n ve S_n dalgası hızları sırasıyla 8.12 ve 4.63 km/sn kadardır.

ABSTRACT

Surface wave dispersion analysis is one of the seismological methods which are extensively used to investigate the Earth's crust and upper-mantle structure. In this analysis, observed phase and group velocity values computed from the dispersive surface waves are compared with the phase and group velocity values from the theoretical structure models. The results that are consistent with observed data are searched by the change of parameters in the theoretical model. At the end of this inversion process, the best fitting theoretical model identifies the desired structure.

In the present study, using the Rayleigh wave records at the station Jerusalem (JER) from two earthquakes that occurred in Caucasus and the south west of the Caspian Sea, the crust and upper-mantle structures for the profiles between sources and station have been investigated. For this purpose, firstly, group velocities have been computed from the records by using Multiple Filter Technique. Then, the structure has been identified by inversion using the Hedgehog Method. Crustal structure models of three layers with the same velocity values but different thicknesses have given the consistent results to the group velocity dispersion data for both profiles. Total crustal thicknesses in these models are about 36 and 38.5 km. The thicker one lies on the east of the other one. Thus, it can be said that the thickness of the crust is getting thicker towards east. P_n and S_n wave velocities for the best fitting models are about 8.12 and 4.63 km/sec, respectively.

GİRİŞ

İlk yüzey dalgası çalışmaları, kaynak ile istasyon arasındaki yapıyı belirlemeye yönelik olan tek istasyon kayıtlarına dayalı çalışmalardır (Ewing ve diğ. 1957). Tek-istasyon yönteminde, kaynak fonksiyonunun bilinmemesi çözümleme-

lerde sorun yaratır. Özellikle, kaynağın başlangıç fazı istasyondaki faz gecikmelerini önemli ölçüde etkilediğinden, faz hızlarında hatalar olabilmektedir. Aynı durum grup hızları için de geçerlidir. Fakat, kaynağın grup gecikmeleri üzerindeki etkisi faz gecikmelerine oranla çok daha azdır ve periyod büyüdükçe

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

etkilemenin oranı artar (Panza ve diğ. 1973, 1975a, 1975b). Bu nedenle, frekans bandı nispeten dar olan 1-2 bin km lik episantr uzaklığındaki istasyonların kayıtlarından yararlanarak, kaynağın etkisi dikkate alınmadan grup hızı çözümlenmesi yapılabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, problemin çok çözümlü olmasıdır. Bu nedenle, yapı modeli belirlenirken, mevcut bilgiler titizlikle dikkate alınmalıdır.

Yüzey dalgası çözümlerinde en duyarlı faz ve grup hızı hesaplamaları, ilk kez Brune ve Dorman (1963) tarafından kullanılan iki-istasyon yöntemiyle elde edilmektedir. Ancak, bu yöntemde deprem kaynağıyla aynı büyük daire üzerinde yer alan iki istasyona ait kayıtlar gerektiğinden veri bulma güçlüğü söz konusudur. Üç veya daha çok istasyondaki verilerden yararlanarak da istasyonlar arası faz gecikmeleri hesaplanabilir. Fakat, yanal heterojenite durumunda çözümlerde hata olması kaçınılmazdır.

Türkiye'de, özellikle Doğu Anadolu'da yapılan kabuk ve üst-manto yapısı araştırmaları oldukça sınırlıdır. Önceki senelerde yapılan bu tür çalışmalar ve bunlardan elde edilen sonuçlar, Ergin (1981) ile Osmañahin ve Alptekin (1990) tarafından özetlenmiştir. Mevcut çalışmaların çoğu deprem verilerine dayalıdır.

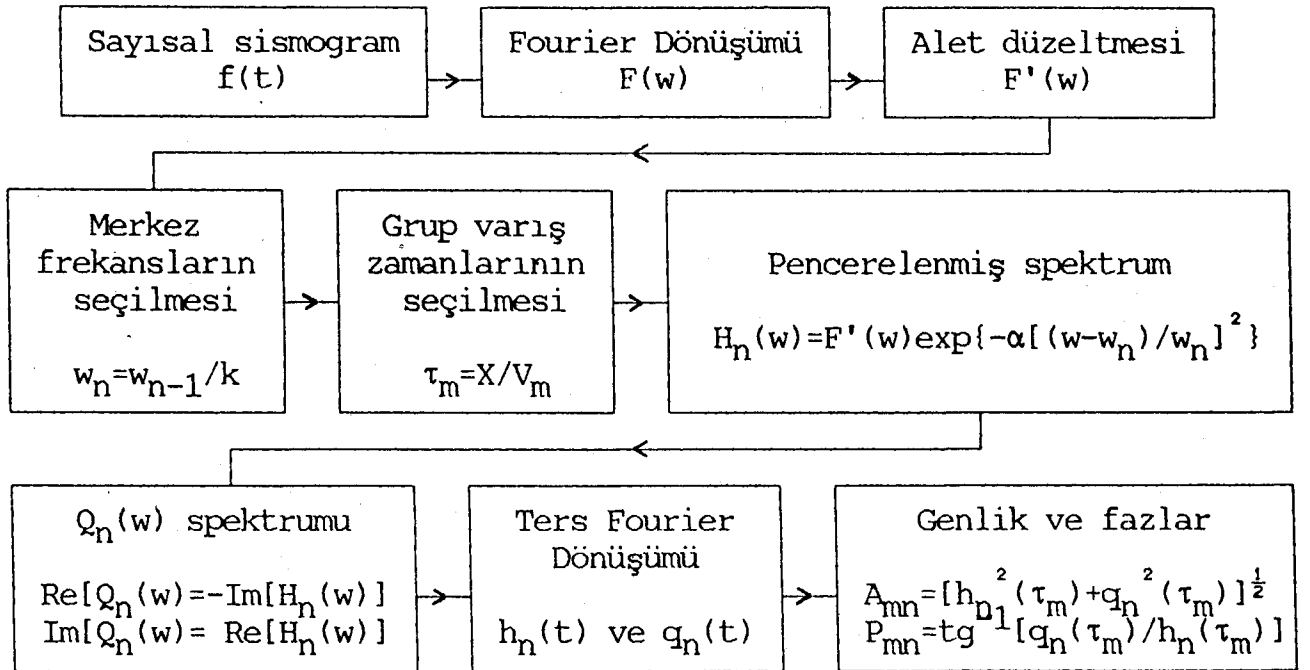
Doğu Anadolu'da yeterli duyarlılıkta ve sayıda sismograf istasyonunun olmayışı, çalışmalar için yeterli veri bulunabilmesinde güçlük yaratmaktadır. Ülkemizin İstanbul ve Ankara'da olmak üzere, uluslararası sismograf örüsüne ait iki istasyonu vardır. Bu istasyonların konumu gereği, kaynak istasyon arası yapının araştırılmasına yönelik sismolojik çalışmalarda incelenebilen profiller genelde yaklaşık olarak doğu-batı doğrultuludur. Bu çalışmada, mevcut çalışmalarda incelenen profillere dike yakın doğrultularda, yani yaklaşık kuzey-güney doğrultusuna profiller oluşturulmaya çalışılmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, uzun peryod düşey bileşen sismograf kayıtlarında gözlenen ana mod Rayleigh dalgalarının grup hızı çözümlenmesi yapılmıştır. Kayıtlardan hesaplanan grup hızlarının ters çözümüyle kabuk ve üst-manto yapısı belirlemeye çalışılmıştır. Grup hızlarının hesaplanmasında günümüzde en yaygın olarak kullanılan Ardışık Süzgeç Tekniği (Dziewonski ve diğ. 1969), ters çözümlenme işlemlerinde ise bir deneme yanılma yolu izleyen Kirpi Yöntemi uygulanmıştır (Valyus ve diğ. 1969, Valyus 1972, Knopoff 1972, Biswas ve Knopoff 1974, Osmañahin ve Alptekin 1990). Bu yöntemlerde izlenen yollar birer akış şeması halinde sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2 de verilmiştir. İyi bilinen yöntemler olduğu için ayrıntıları ile anlatılmayacak, kısa tanımlamalarla yetinilecektir.

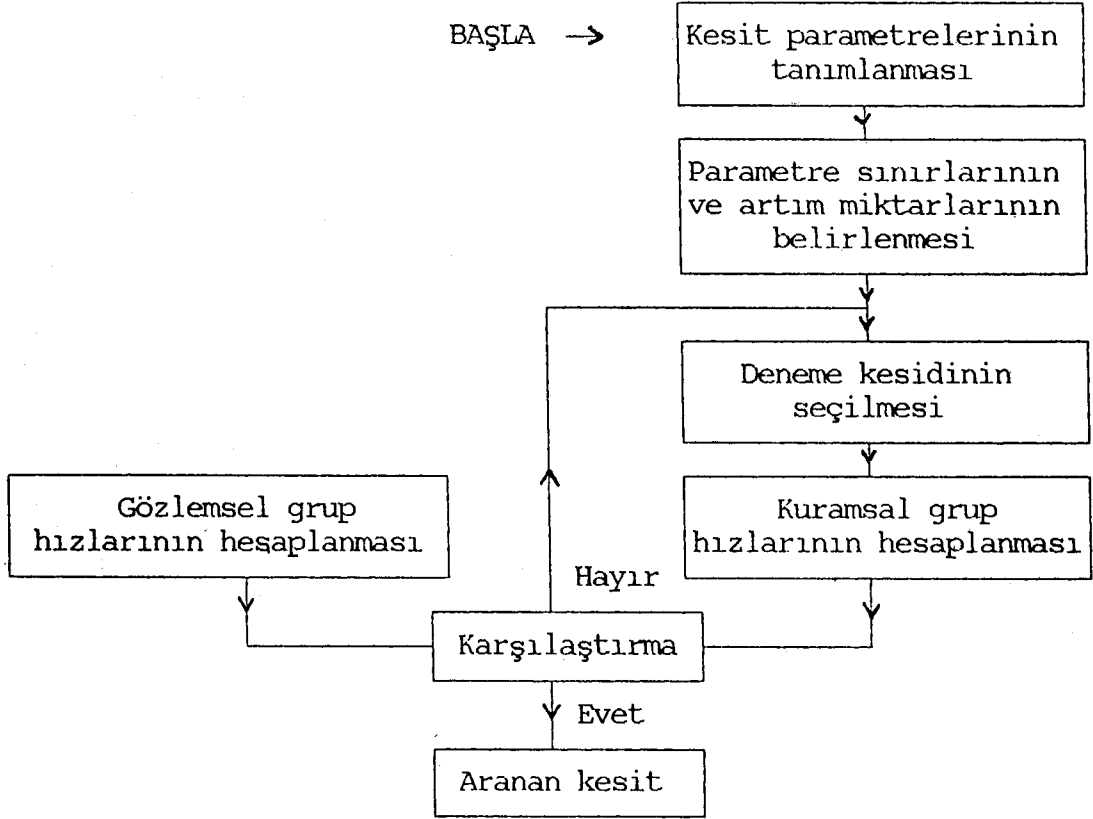
Ardışık Süzgeç Tekniği, genlik ve fazları peryodun ve hızın fonksiyonu olarak belirlenmek istenen sinyalin, birbirini izleyen noktalar boyunca, bu noktalarda merkezlenen dar bantlı süzgeçlerden geçirilmesi şeklinde uygulanır. Bir başka deyişle, ele alınan sinyal belirli aralıklardaki çeşitli frekanslar için pencerelemektedir. Böylece, her frekans için genlik iyi bir ayrımlılıkla elde edilmiş olur. Süzgeçleme işlemi zaman ortamında veya frekans ortamında yapılabilir. Kuramsal olarak eşdeğer olmalarına rağmen, ayrımlılığın daha yüksek olması ve zamandan kazanç sağlaması bakımından frekans ortamı işlemleri yeğlenebilir. Frekans ortamında ardışık olarak uygulanan her bir pencereleme işleminin sonunda, ters Fourier dönüşümü alınarak elde edilen dalgacıktan, karşılık gelen peryoda ait grup hızı hesaplanır. Pencere fonksiyonu olarak Gauss fonksiyonu kullanılmaktadır.

Kirpi yöntemi kullanılarak uygulanan ters çözümlenme işlemlerinde ise, önce yapıyı belirleyen parametrelerin alt ve üst sınır değerleriyle, her bir parametrenin bir sonraki deneme çözümünde kullanılacak değerini saptayabilmek amacıyla artım miktarlarının seçilmesi gerekir. Sonra, her bir parametre-



Şekil 1. Ardışık Süzgeç Tekniğinde uygulanan işlemlerin akış şeması (Dziewonski ve diğ. 1969). (a bir sabittir).

Fig. 1. Flow diagram for Multiple Filter Technique (Dziewonski et al. 1969). (a is a constant).



Şekil 2. Kirpi (Hedgehog) Yöntemi ile yapılan ters çözümleme işlemlerinin akış şeması (Osmanşahin ve Alptekin'den (1990) uyarlanmıştır).

Fig. 2. Flow diagram of inversion scheme by using Hedgehog Method (modified from Osmanşahin and Alptekin (1990)).

nin alacağı deneme değerlerinin tüm olası kombinasyonları için kuramsal hız değerleri hesaplanır. Her adımda, yani her bir deneme modeli için hesaplanan kuramsal hız değerleri gözlemsel hız değerleriyle kıyaslanarak uyum derecesi izlenir. Aradaki fark, istenen sınırı aşıyorsa bir sonraki deneme çözümüne geçilir. Uyum sağlanınca aranan yapı belirlenmiş olur.

VERİLER

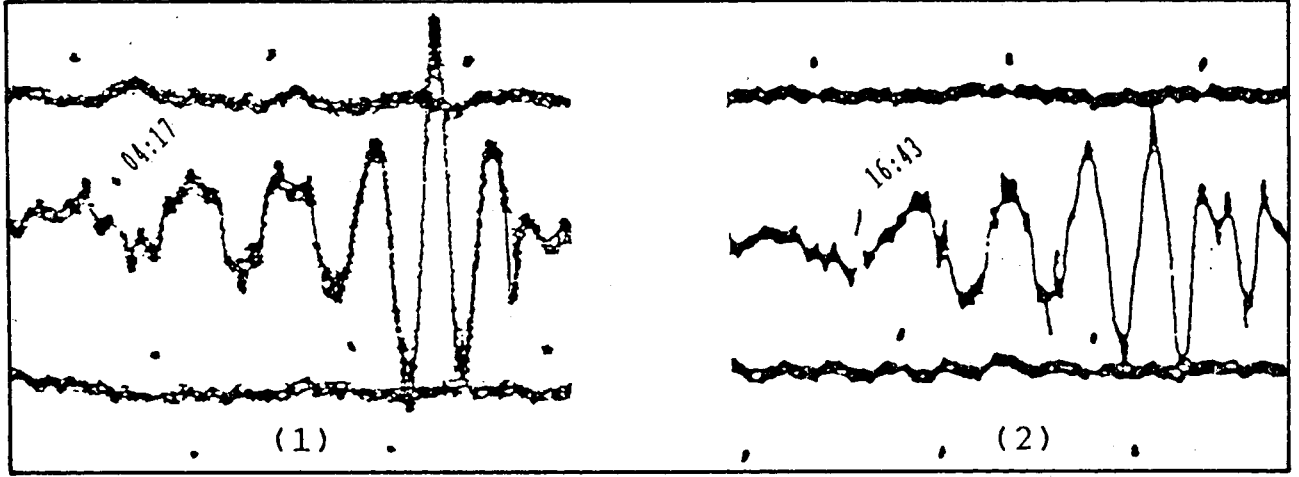
Doğu Anadolu'yu ve Kafkasya'nın bir bölümünü, yaklaşık kuzey-güney doğrultusunda kesecek profiller oluşturabilmek bakımından en uygun konumdaki WWSSN istasyonu Kudüs (JER) istasyonudur. Bu istasyonla birlikte Doğu Anadolu ve yakın civarında oluşmuş depremler istenen konumdaki kaynak-istasyon çiftlerini sağlamaktadır. Kullanılacak verilerin elde edilmesi amacıyla, Amerikan veri merkezi

NOAA'ya (National Oceanographic and Atmospheric Administration) ait kütükler ve 1981 sonrası yıllar için ISC (International Seismological Center) bültenleri taranarak, bölgede oluşmuş depremler arasında magnitüdü 5.0-5.5 civarında olanlar seçilmiştir. Bu şekilde belirlenen yaklaşık 20 depreme ait kayıtların mikrofilmleri Dünya Sismoloji Veri Merkezi'nden (World Data Center A for Seismology) istenmiştir. Gelen kayıtlar incelenmiş ve iki düşey bileşen kaydının kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu kayıtların ait oldukları depremlerin parametreleri Çizelge 1 de verilmiştir. Kayıtlarda gözlenen Rayleigh dalgaları Şekil 3 de gösterilmiştir. İncelenen diğer kayıtlar yeterince seçilebilir bulunmamıştır. Bazılarında sinyal/gürültü oranı küçük, bazılarında ise izler kağıt dışına taşmıştır. Çözümlenelerde kullanılan kayıtların ait olduğu istasyon ve depremlerin oluşturduğu profiller Şekil 4 deki haritada gösterilmiştir.

Çizelge 1. Çözümlenelerde kullanılan depremlerin odak parametreleri.

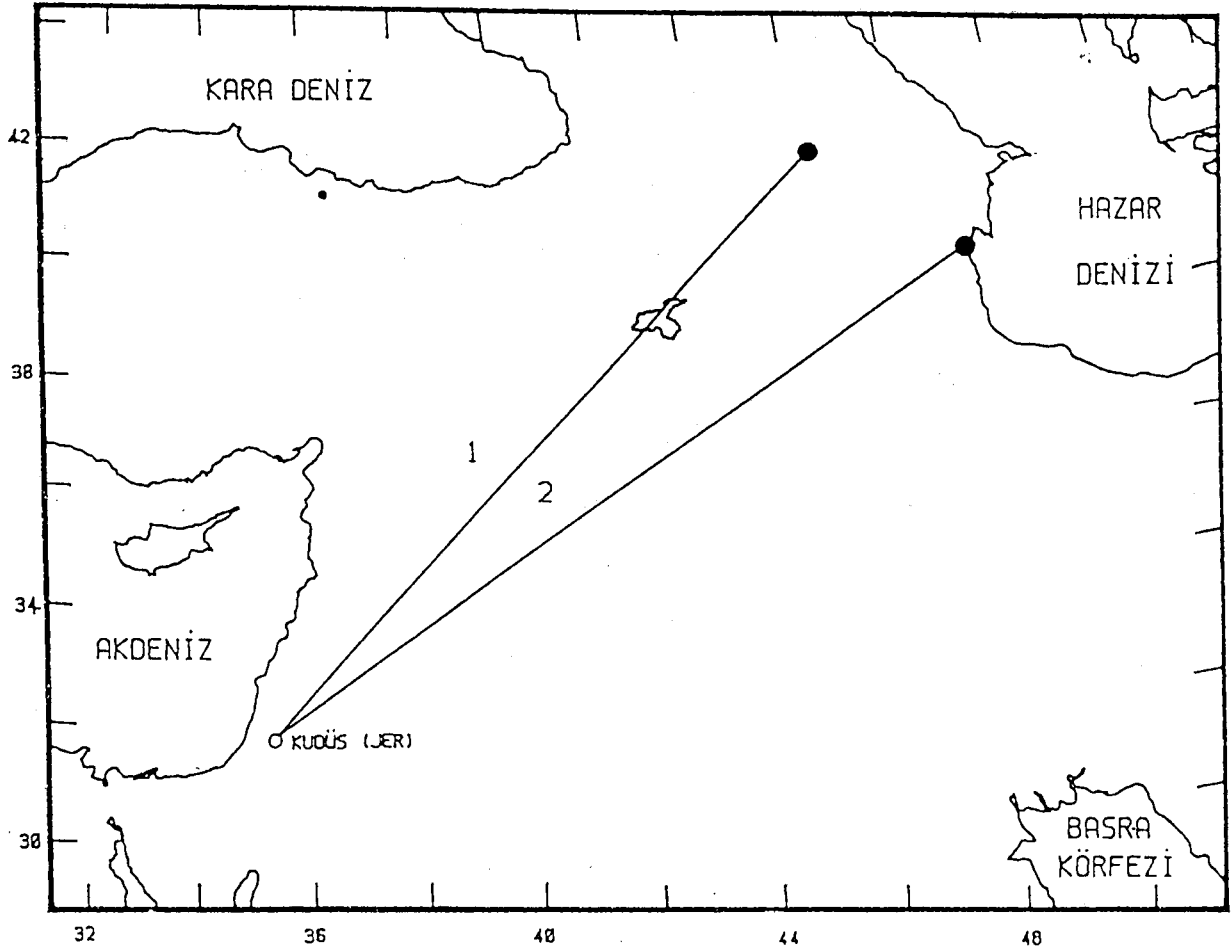
Table 1. Parameters of earthquakes that are used in the analysis.

Sıra No	Tarih	Oluş Zamanı (GTM)	Koordinat Enlem Boylam	Derinlik (Km)	Magnitüd (Mb)
1	03.05.1982	04:1004.9	41.210N 46.200E	45	5.2
2	27.01.1986	16:35:51.5	38.930N 48.680E	56	5.3



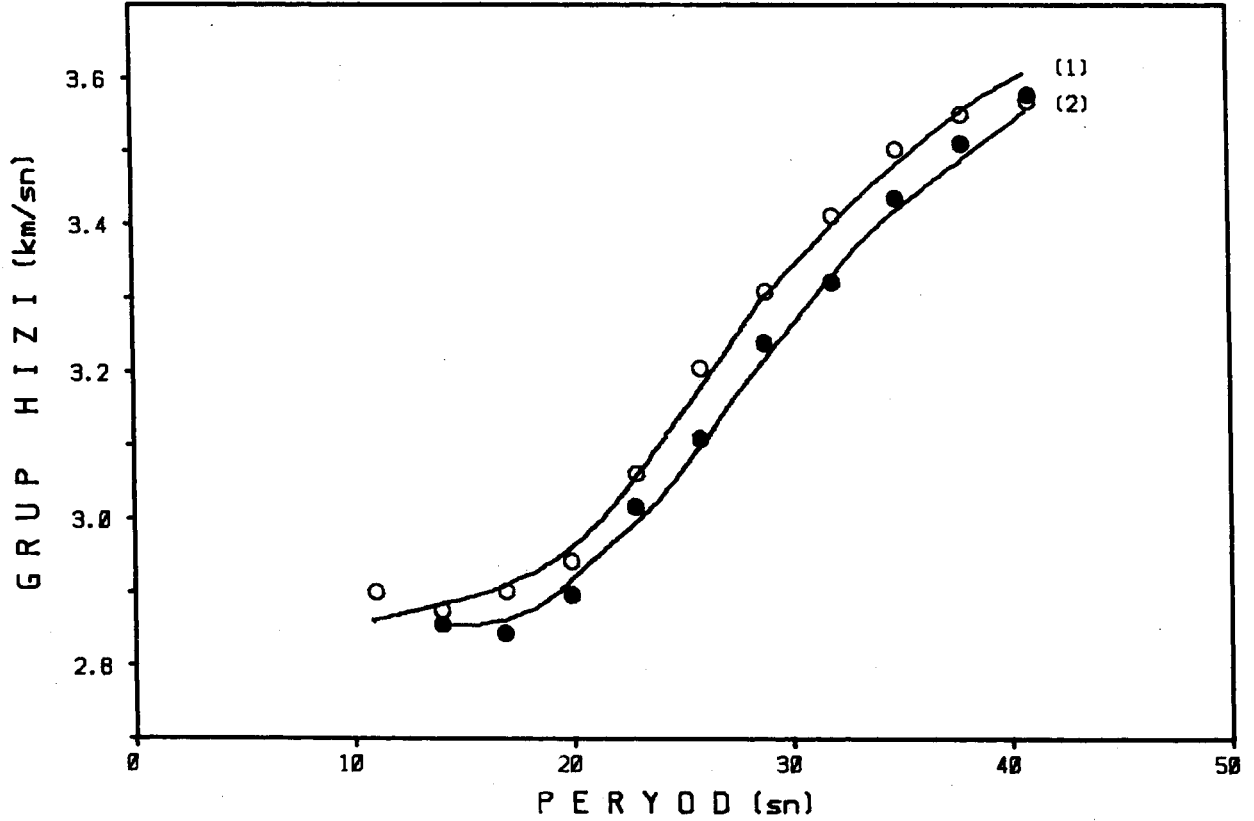
Şekil 3. Çözümlemelerde kullanılan depremlerin Kudüs (JER) istasyonuna ait uzun-periyot düşey bileşen Rayleigh dalgası kayıtları.

Fig. 3. Long-period vertical component Rayleigh wave records of the earthquakes at the station Jerusalem (JER), that are used in the analysis.



Şekil 4. Çözümlemelerde kullanılan depremlerin episantrları ve incelenen kaynak-istasyon arası profiller.

Fig. 4. Epicenters of the earthquakes used in the analysis and the investigated profiles between station and epicenters.



Şekil 5. İncelenen her iki profil için elde edilen grup hızı dispersiyon verileri. Gözlemsel ve kuramsal değerler sırasıyla daireler ve sürekli eğriler ile gösterilmiştir.

Fig. 5. Group velocity dispersion data obtained for both profiles. Observed and theoretical values are shown as circles and continuous curves, respectively.

ÇÖZÜMLEMELER

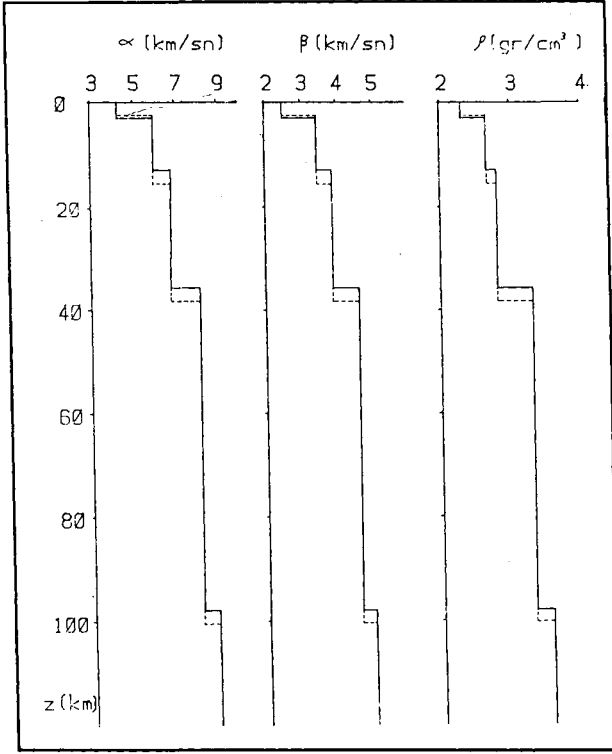
Seçilen kayıtlar yeterli oranda büyütülerek Rayleigh dalgasının gözlemlendiği kesimler sayısallaştırılmak için ayrılmıştır (Şekil 3). Bu kayıtlar önce rastgele aralıklarla sayısallaştırılmıştır. Sonra doğrusal ara değer bulma yoluyla 1 sn lik eşit aralıklarla örneklenmiş sinyaller elde edilmiştir. Her bir sinyal için, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan trend doğrusu sinyalden çıkarılarak, sinyalin içerdiği doğrusal trend giderilmiştir. Bu şekilde düzeltilen sinyallerden alet tepkisi giderile-

rek, Ardışık Süzgeç Tekniği ile grup hızları hesaplanmıştır. Elde edilen grup hızı dispersiyon verileri Şekil 5 de gösterilmiştir. Böylece, hesaplanan gözlemsel grup hızları için Kirpi Yöntemi ile ters çözümleme işlemleri uygulanarak incelenen her iki profil için kabuk ve üst-manto yapısı belirlenmiştir. Ters çözümleme sonucu elde edilen yapı modellerine ait kuramsal grup hızı dispersiyon eğrileri, gözlemsel grup hızı değerleri ile birlikte Şekil 5 de gösterilmiştir. Gözlemsel ve kuramsal grup hızı değerleri arasındaki fark 0.05 km/sn den daha

Çizelge 2. Her iki profil için elde edilen yapı modeli.

Table 2. Structural model determined for both profiles.

Kalınlık (km)		P-dalgası hızı (km/sn)	S-dalgası hızı (km/sn)	Yoğunluk (gr/cm ³)
1. profil	2. profil			
3	2,5	4,25	2,48	2,30
10	13	5,81	3,46	2,65
23	23	6,83	3,89	2,80
62	62	8,12	4,63	3,30
		8.87	5.04	3.35



Şekil 6. İncelenen her iki profil için elde edilen yapı modellerine göre P ve S dalgası hızları ile yoğunluğun derinlikle değişimi. Kesikli çizgiler [2] nolu profilin [1] nolu profile göre farklılıklarını gösterir.

Fig. 6. P and S wave velocities and density versus depth in the structural models obtained for investigated profiles. Dashed lines show the discrepancies of the profile [2] from the profile [1].

küçüktür. Her iki profil için belirlenen yapı modellerine ait parametreler Çizelge 2 de verilmiştir. Bu yapılara ait P ve S dalgası hızları ile yoğunluğun derinliğe göre değişimleri Şekil 6 da gösterilmiştir.

Ters çözümleme işlemleri önce [1] nolu profil için uygulanmış ve üç tabakadan oluşan toplam 36 km kalınlığında bir kabuk yapısı saptanmıştır. Şekil 5 den izlenebileceği gibi, [2] nolu profilde hızların daha küçük olması koşuluyla her iki profile ait dispersiyon eğrileri yaklaşık olarak birbirine paraleldir. Bu nedenle, [2] nolu profil için ters çözümleme işlemlerinin uygulanmasında, kabuk kalınlığının [1] nolu profile göre daha kalın olabileceği düşüncesiyle hareket edilmiş ve hız ile yoğunluk değerleri değiştirilmeksizin sadece tabaka kalınlıklarını arttırılarak model aranmıştır. Nitekim, [2] nolu profil için [1] nolu profilde belirlendiği gibi aynı hız ve yoğunluk değerlerine sahip üç tabakalı bir kabuk yapısı içeren, ancak toplam kabuk kalınlığı 38.5 km olan bir yapı modelinin (Çizelge 2) gözlemsel verilerle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anadolu için daha önce yapılmış kabuk ve üst-manto yapısı ile ilgili çalışmalarda yaklaşık 40 km civarında bir kabuk kalınlığı verilmektedir (Canitez 1962, 1969, Ezen 1983, Türkelli 1985, Dewey ve diğ. 1986, Mindevalli ve Mitchell 1989, Kenar ve Toksöz 1989, Osmañahin ve Alptekin 1990).

Daha doğuda İran için yapılan çalışmalarda saptanan kabuk modelleri daha kalın olup 45 km civarındadır (Neprochnov ve diğ. 1970, İslami 1972, Patton 1980, Feng ve Teng 1983, Osmañahin ve Alptekin 1990). Bu çalışmada incelenen her iki profilde de daha ince kabuk yapısı modelleri elde edilmiş olmasının nedeni, bu profillerin daha ince bir kabuk yapısı olan orta doğu üzerinden de geçmesidir. Ben Menahem ve diğ. (1976), Eylat'dan kuzeye doğru Anadolu'ya kadar uzanan bir profil için 35 km civarında bir kabuk kalınlığı belirlemişlerdir. Elde edilen yapı modellerindeki hız değerleri de yukarıda belirtilen daha önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

SONUÇLAR

Tek istasyon kaydı ana mod Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon verilerinden yararlanılarak Doğu Anadolu ve civarı için kabuk ve üst-manto yapısının araştırıldığı bu çalışmada, iki profil için çözüm sağlanmıştır. Bu profiller, Hazar Denizi'nin güneybatı kıyısında ve bunun yaklaşık 330 km kuzeybatısında oluşmuş iki depremin episantrları ile, kayıtlarından yararlanılan Kudüs (JER) istasyonu arasında kalmaktadır ve yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı doğrultuludur.

Bölgenin Doğu Anadolu ve Kafkasya'da kuzey kesimi şiddetli bir deformasyon bölgesidir ve dağlık bir arazidir. Dolayısıyla bu bölge için nispeten kalın bir kabuk yapısı beklenir. Profillerin Arap Levhası içinde kalan güney kesimlerinde kabuk yapısı ise daha ince olmalıdır. Nitekim, daha önce yapılmış çalışmalarda Doğu Anadolu için 40 km, İran için 45 km ve güney kesim için 35 km civarında kabuk kalınlıkları verilmiştir. İncelenen her iki profil için elde edilen yapı modellerine göre yerkabuğu üç tabakadan oluşmaktadır. Her iki modeldeki hız ve yoğunluk değerleri de aynıdır. Fakat, kabuğu oluşturan tabakaların, dolayısıyla kabuğun, kalınlığı farklıdır. Daha batıda olan profil için 36 km, daha doğuda olanı için 38.5 km civarında kabuk kalınlıkları saptanmıştır. Yani, daha önceki çalışmaların sonuçlarında da verildiği gibi, yerkabuğu doğuya doğru gidildikçe kalınlaşmaktadır. Üst-mantodaki P ve S dalgası hızları sırasıyla 8.12 ve 4.63 km/sn civarındadır.

KAYNAKLAR

- Ben Menahem, A., Nur, A. and Vered, M. 1976, Tectonics, seismicity and structure of the Afro-Eurasian junction-the breaking of an incoherent plate, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 12, 1-50.
- Biswas, N.N. and Knopoff, L. 1974, The structure of upper-mantle under the United States from the dispersion of Rayleigh waves, *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 36, 515-539.
- Brune, J. and Dorman, J. 1963, Seismic waves and Earth structure in the Canadian shield, *Bull. Seism. Soc. Am.* 53, 167-209.
- Canitez, N. 1962, Gravite Anomalileri ve Sismolojiye Göre Kuzey Anadolu'da Arz Kabuğunun Yapısı, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi.
- Canitez, N. 1969, Türkiye ve Civarındaki Depremlere ait Fundamental Moddan Yüzey Dalgaları Üzerinde İncelemeler, TÜBİTAK Proje No: MAG-150.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. 1986, Shortening of continental lithosphere the neotectonics of eastern Anatolia- a young collision zone, in *Collision Tectonics, Geol. Soc. Special Pub.* 19,3-36.

- Dziewonski, A., Bloch, S. and Landisman, M. 1969, A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.* 59, 427-444.
- Ergin, K. 1981, Jeofiziğin verilerine göre yer kabuğunun ve üst mantonun yapısı, *I.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi Yayın Organı*, Cilt 2, Sayı 3-4.
- Ewing, M., Jardetzky, W. and Press, F. 1957, *Elastic Waves in Layered Media*, Mc Graw-Hill, New York.
- Ezen, Ü. 1983, Kuzey ve Doğu Anadolu'da Love dalgalarının dispersiyonu ve yer kabuğu yapısı, *Deprem Araş. Bülteni* 43, 42-62.
- Feng, C. and Teng, T. 1983, Three-dimensional crust and upper mantle structure of the Eurasian continent, *J. Geophys. Res.* 88, 2261-2272.
- Islami, A.A. 1972, A study of the depth of Mohorovicic discontinuity in western Iran and the velocity of the P_n wave, *J. Earth Space Phys.*, 1-12.
- Kenar, Ö. ve Toksöz, M.N. 1989, Anadolu yarımadasında yüzey dalgalarının dispersiyonu ve ortamın soğurma özellikleri, *Jeofizik* 3, 92-106.
- Knopoff, L. 1972, Observation and inversion of surface wave dispersion, *Tectonophysics* 13, 497-519.
- Mindevalli, O.Y. and Mitchell, B.J. 1989, Crustal structure and possible anisotropy in Turkey from seismic surface wave dispersion, *Geophys. J. Int.* 98, 93-106.
- Neprochnov, Y., Kosminskaya, I. and Malovitsky, Y. 1970, Structure of the crust and upper mantle of the Black and Caspian seas, *Tectonophysics* 10, 517-538.
- Osmanşahin, İ. ve Alptekin, Ö. 1990, Love ve Rayleigh dalgalarının istasyonlar arası ortam tepki fonksiyonlarından Anadolu ve civarında kabuk ve üst-manto yapısı, *Jeofizik* 4, 123-146.
- Panza, G.F., Schwab, F. and Knopoff, L. 1973, Multimod surface waves for selected focal mechanisms, I, Dip-slip sources on a vertical fault plane, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 34, 265-278.
- Panza, G.F., Schwab, F. and Knopoff, L. 1975a, Multimod surface waves for selected focal mechanisms, II, Dip-slip sources, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 42, 931-943.
- Panza, G.F., Schwab, F. and Knopoff, L. 1975b, Multimod surface waves for selected focal mechanisms, III, Strike-slip sources, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 42, 945-955.
- Patton, H. 1980, Crust and upper mantle structure of the Eurasian Continent from the phase velocity and Q of surface waves, *Rev. Geophys. Space Phys.* 18, 605-625.
- Türkelli, N. 1985, *Seismic Investigations of the Crustal Structure in Central Anatolia*, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Valyus, V.P., Keilis-Borok, V.I. and Levshin, A. 1969, Determination of the upper-mantle velocity cross-section for Europe, *Proc. Acad. Sci. USSR*, 185, n.3 (in Russian).
- Valyus, V.P. 1972, *Determining Seismic Profiles from a Set of Observations*, Computational Seismology, Ed. V.I. Keilis Borok, Consult, Bureau, New York.