



ISPARTA SİSMOGRAF İSTASYONU ALTINDAKİ
KABUK YAPISININ BELİRLENMESİ

(DETERMINATION OF THE CRUSTAL STRUCTURE BENEATH THE ISPARTA
SEISMOGRAPH STATION)

Ü. Yalçın KALYONCUOĞLU*, M. Fırat ÖZER**

ÖZET/ABSTRACT

Isparta sismograf istasyonu altındaki kabuk yapısı alıcı fonksiyonu analizi kullanılarak belirlenmiştir. Alıcı fonksiyonu analizi üst manto ve kabuk içerisindeki arayüzelerde hız, kalınlık ve yoğunluk değişimine bağlı kabuk transfer fonksiyonunun belirlenmesinde kullanılır. 1996-2001 yılları arasında geniş-bant Isp istasyonu tarafından kaydedilmiş dalga fazları iyi tanımlanan 26 adet deprem, odak derinliği 35-700 km arasında, cisim dalgası magnitüdü 5.5'dan büyük, episantr uzaklığı 35°-81° arasında, azimutal dağılımı 0°-360° arasında olacak biçimde seçilmiştir. Alıcı fonksiyonu analizi, yatay tabakalı kabuk modelleri için aralık tarama yöntemi ve Thomson-Haskell yayıcı matris (propagator matrix) formülasyonu kullanılarak teorik P dalgası ve S dönüşmüşleri için hesaplanan yapay alıcı fonksiyonlarının gözlemsel alıcı fonksiyonu ile karşılaştırılmasına dayanır. En uygun modelin seçimi, hesaplanan yapay alıcı fonksiyonu ile ölçülmüş alıcı fonksiyonu sismogramları arasında en yüksek karşıt ilişki, en düşük standart sapma ve varyans değeri veren teorik kabuk modelinin tanımlanmasına dayanır. Bulunan kabuk modeli kabuk yapısı karmaşıklığı, veri kalitesi ve yapılan teorik kabullerden (yatay tabakalanma, her bir tabaka için yoğunluk ve hızlar) dolayı tekil değildir.

Kabuk modellemesinde kabuğun üç tabakadan oluştuğu bulunmuştur. Yaklaşık 2 km kalınlığında S dalga hızı yaklaşık 2 km/s olan yüzey tabakası, ikinci olarak 15 km kalınlığında 3.35 km/s S dalga hızına sahip üst kabuk, üçüncü olarak 14 km kalınlığında 3.8 km/s S dalga hızına sahip alt kabuk belirlenmiştir. Isparta istasyonu altında Mohorovicic süreksizliğine kadar olan derinlik 31±1 km ve üst mantoya ait P ve S dalga hızları 8.0±0.2 km/s, 4.5±0.1 km/s olarak tespit edilmiştir.

The crustal structure beneath the Isparta seismograph station is derived using receiver function method. The receiver function is used to obtain the crustal transfer function based on thickness variation, crustal velocities, densities and the angle of emergence at the lower crust and upper mantle interface. 26 well-defined earthquakes recorded at the broad-band Isp station during the period of from 1996 to 2001 were selected for analysis based on the following criteria: focal depths with a range between 35 and 700 km, body-wave magnitudes greater than 5.5, epicentral distances with a range from 30° to 81°, and azimuthal coverage from 0° to 360°. Receiver function analysis were based on the comparison of the observed receiver function with computed receiver function from the theoretical P-wave and its S conversion motion obtained using Thomson-Haskell matrix formulation and grid search method for horizontally layered crustal models. The selection of the most suitable model was based on the identification of the theoretical model which exhibits the highest cross-correlation coefficient, lowest standard deviation and variance between observed and computed receiver function seismograms. The derived crustal model is not unique due to the theoretical assumptions (horizontal layering, constant densities and velocity in each layer), quality of the data and complexities of crustal structure.

The crustal models suggest that crust consist of three distinct layers. The surface layer has a S wave velocity of about 2 km/s and is about 2 km thick, the second layer has a S wave velocity of about 3.35 km/s and is about 15 km thick. The third layer shows S wave velocity of about 3.8 km/s and is 14 km thick. The Mohorovicic discontinuity beneath the Isparta indicates P wave velocity 8.0±0.2 km/s, S wave velocity 4.5±0.1 km/s and upper mantle depth is 31±1 km.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Kabuk yapısı, Alıcı fonksiyonu, Yapay sismogram, Isparta bükümü
Crustal structure, Receiver function, Synthetic seismogram, Isparta angle

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Jeofizik Müh. Böl., ISPARTA.

**Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

1. GİRİŞ

Telesismik cisim dalga varışlarına göre yer yüzeyindeki yerdeğiştirme, birçok bilinmeyen nicelik tarafından etkilenir. Bu nicelikler; kaynak-zaman fonksiyonu, kaynak yakınlarındaki hız süreksizlikleri, ışının dönme noktası yakınındaki süreksizlikler, istasyon altındaki üst manto ve kabuk yapısıdır. İstasyon altındaki yapının etkisini diğerlerinden ayırmak ve bunları kabuk ve üst Manto bilgisine dönüştürmek için bir çok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; seyahat zamanı çalışmaları, yüzey dalgalarının dispersiyonu, cisim dalgası spektral teknikleri, dönüşmüş fazlar ve alıcı fonksiyonu teknikleridir. Alıcı fonksiyonu tekniği mantonun yol etkisi, alet ve kaynak etkilerinden üst manto ve kabuk tepkilerinin ayrılmasında önemli bir avantaja sahiptir. Bu ayırma işleminin ayrıntıları Langston tarafından verilmiştir (Langston, 1979). Bu işlem içerisinde boyuna (radyal) ve enine (tanjansiyel) bileşenler düşey bileşen ile dekonvolüsyona tabi tutulur. Bu yolla hesaplanan alıcı fonksiyonu P doğrudan varışı, P-S dönüşümü ve tekrarlılarını kullanarak kabuk yapısının belirlenmesini sağlar. Alıcı fonksiyonu dönüşümü üç bileşen sismik istasyon altındaki süreksizliklerin belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu teknik bir çok araştırmacı tarafından başarıyla kullanılmıştır (Burdick ve Langston, 1977; Langston, 1979; Owens vd., 1988; Ammon vd., 1990; Ammon ve Zandt, 1993; Sandvol vd., 1998; Saunders vd., 1998).

Çeşitli teknikler kullanılarak Türkiye içerisinde de kabuk yapısı çalışmaları yapılmıştır. Canitez, yüzey dalgalarından yararlanarak yaptığı çalışmada Kuzey ve Doğu Anadolu kabuk yapısını 4 tabakalı ve 36 km kalınlıklı olarak vermiştir (Canitez, 1969). Kenar ve Toksöz, çalışmalarında Kuzey - Doğu Anadolu için 3 tabakalı ve 41 km kalınlıklı kabuk yapısı vermişlerdir (Kenar ve Toksöz, 1989). Ezen, çalışmasında Kuzey ve Doğu Anadolu için 4 tabakalı ve 38 km kalınlıklı kabuk modeli belirtmiştir (Ezen, 1983). Yine Kuzey ve Doğu Anadolu için Osmanşahin, 40-43 km kalınlıklı yapı sunmuştur (Osmanşahin, 1989). Kenar, spektral oran tekniği ile İstanbul ve civarı için 30 km, 25-26 km kabuk kalınlıkları bulmuştur (Kenar, 1978). Özer dönüşmüş fazlar ile İstanbul ve civarı için 30 km kabuk kalınlığı vermiştir (Özer, 1989). Saunders vd., alıcı fonksiyonu (receiver function) analizini kullanarak Kula için 30 km, Uşak için 34 km ve Ankara için 37.5 km kabuk kalınlıkları bulmuşlardır (Saunders vd., 1998). Çakır vd. Trabzon TBZ istasyonu için alıcı fonksiyonu tekniği ile 32-40 km kabuk kalınlığı saptamışlardır (Çakır vd., 2000).

Çalışma alanı Toros orojenik kuşağı içerisinde Batı Toroslar da Isparta Büklümü olarak adlandırılan bölge içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Isparta büklümü oldukça ilginç ve karmaşık bir jeolojiye sahiptir. Isparta büklümü içerisinde ilgilenilen alan farklı orijinli paratokton, birçok allokton ve otoktonların polyphased superpozisyonlarından oluşmaktadır. Şimdiye kadar, Toros kuşağı ve Isparta büklümü bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Dumont vd., 1979; Poisson, 1990; Makris, 1976; Mindevalli vd., 1989; Özgül, 1976; Koçyiğit, 1980; Koçyiğit, 1983; Koçyiğit, 1984; Coban vd., 2001). Yapılmış birçok çalışmaya rağmen çalışılan alanın jeolojisi hala tartışmalıdır.

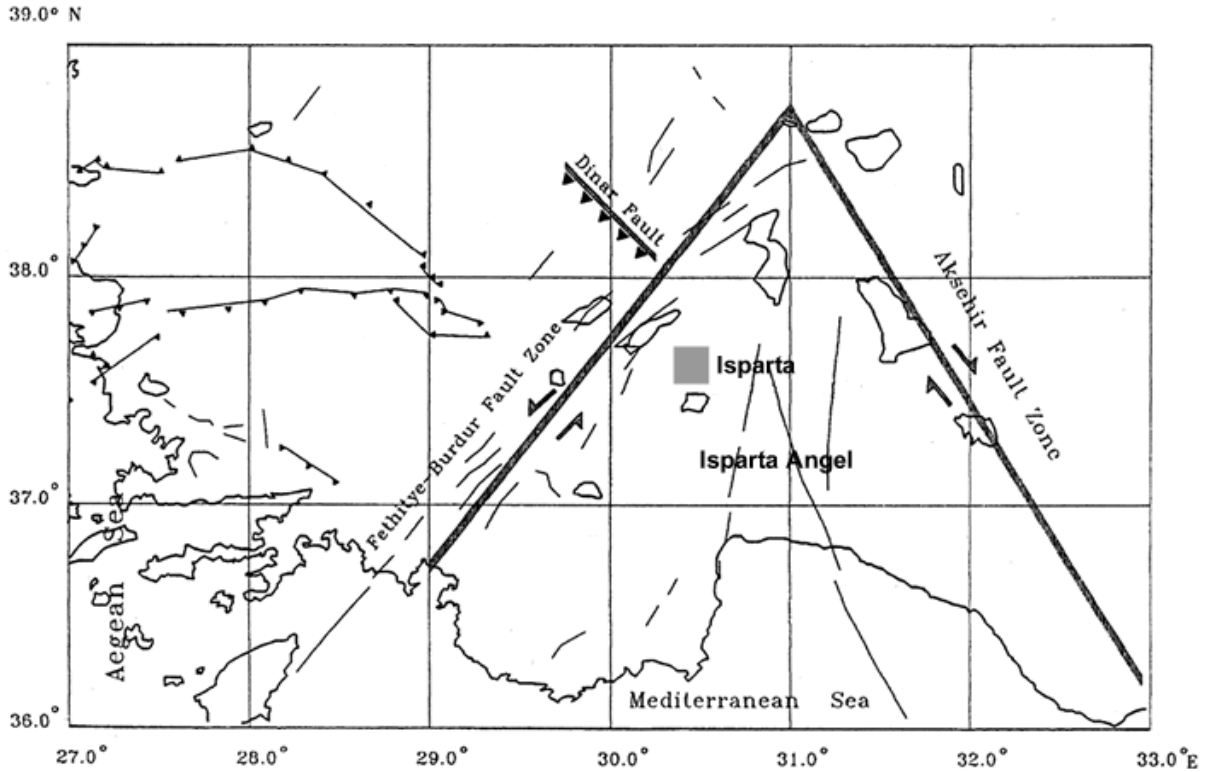
Bu makalenin amacı alıcı fonksiyonu analizi ile Isparta kabuk yapısının belirlenmesi ve yapılacak yeni jeolojik çalışmalara yardımcı olmasıdır. Ayrıca, alıcı fonksiyonundan elde edilen kabuk modelinin S dalga treni içerisinde bulunan S ve Sp dönüşmüşünün zaman ortamı doğrudan modellenmesi ile test edilmesi de amaçlanmıştır.

2. VERİ VE METOD

Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs alanı yakınlarında bulunan GeoForschungsZentrum Potsdam (GEOFON) yerbilimleri enstitüsüne bağlı geniş band üç

bileşen ISP istasyonu kayıtları kullanılmıştır. İstasyon tarafından aynı anda kaydedilen 20 Hz, 1 Hz, 0.1 Hz örnekleme aralığına sahip kayıtlar incelenmiş bunlar içerisinde 20 Hz kayıtlarının çalışma amacına daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Basit kaynak-zaman fonksiyonlu derin ve uzak-alan deprem verileri seçilmeye çalışılmıştır. Derin depremlerin seçilmesinin nedeni, kaynak civarındaki süreksizliklerden dolayı meydana gelebilecek tekrarlı yansımalar ve serbest yüzey yansımalarının oluşturacağı bozucu etkiden kaçınmak içindir. Ayrıca 30° 'den daha küçük episantır uzaklıklarında üst manto dalga şeklini oldukça karmaşık hale getirmekte, 90° 'den daha büyük uzaklıklarda ise P dalga şekli gölge bölgesinden ve çekirdek fazlarından etkilenmektedir. S dalgası gözönüne alındığında bu sınır maksimum uzaklık 78° olarak verilmektedir. Bunun nedeni ise bu uzaklıktan sonra ScS ve SKS fazlarının hemen S fazının önünde yer almaya başlayarak Sp fazını örtmesidir. Bunların yanı sıra yarı sonsuz bir ortam üzerinde yatay, homojen ve elastik bir tabakadan oluşan yapıya çarpan dalgaların düzlem dalga olarak kabul edilebilmesi için kaynağın yeteri kadar uzakta olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda P ve S dalga yörüngeleri kaynak uzaklığı ve derinliğe uygun bir ışın parametresi ile tanımlanabilmektedir.



Şekil 1. Güneybatı Türkiye'nin Tektonik özellikleri, Isparta Büklümü ve çalışma alanının (siyah kutucuk) şematik gösterimi (Pinar, 1998)

Yukarıda tanımlanan kriterler ($D > 300$ km, $M > 6$, $30^\circ < \Delta < 85^\circ$, azimut = 90°) doğrultusunda olaylar araştırılmış ancak bu özelliklerde yeteri miktarda veri elde edilememiştir. Bu nedenle magnitüdü 5.5 dan büyük olan, daha az derin, ve ara azimutlara düşen depremlerde veri gürubuna dahil edilmiştir.

Bu çalışmada 26 adet depreme ait üç bileşen kaydı kullanılmıştır. Bu depremlere ilişkin deprem parametreleri ve azimut açısı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kaynak parametrelerine ilişkin bilgiler USGS (United States Geological Survey) ve IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) bültenlerinden karşılaştırılarak alınmıştır.

Kayıtlarda düşey bileşen oldukça temiz olmakla birlikte bazı kayıtlarda yatay bileşenlere uzun periyodlu çevresel gürültüler bozucu etki olarak girmişlerdir. Bazı olayların doğu batı bileşenindeki gürültü oranı diğerlerine nazaran biraz daha yüksektir. Bu gürültüler çok uzun periyodlu olmaları nedeniyle kayıtlara eğim (trend) olarak girmişlerdir. Bu nedenle kayıtlar basit bir eğim giderme işlemi ile bu gürültülerden arındırılmıştır.

Gözlemsel boyuna alıcı fonksiyonu (radial receiver function) ve enine alıcı fonksiyonu (tangential receiver function) water-level dekonvolüsyon tekniği kullanılarak hesaplanmıştır (Langston, 1979; Ammon, 1991; Saunders vd., 1998). Bu teknik ile ilgili ayrıntılar Langston (1979) tarafından verilmiştir. Bu teknikte dekonvolüsyon işlemi c (minimum spektral dolgu) değeri ile kararlı (stabilize) hale getirilir. Bu değer (c) ortalama fonksiyonu (averaging function) dalga şekli ve gürültü seviyesi göz önüne alınarak seçilir. Ortalama fonksiyon'u, belirlenen bir c değeri için düşey bileşenin kendi kendine dekonvolüsyonu ile hesaplanır. Alıcı fonksiyonları sonuç dalga şekli, yüksek frekanslı gürültü içeriği band genişliği a olan Gaussian filtre ile süzülerek elde edilir. Bu çalışmada kullanılan tüm dekonvolüsyon işlemleri $c=0.01-0.001$ ve $a=1.0$ alınarak hesaplanmıştır. Bu değerler kabuk yapısının ana özelliklerinin belirlenmesi için yeterli görülmüştür.

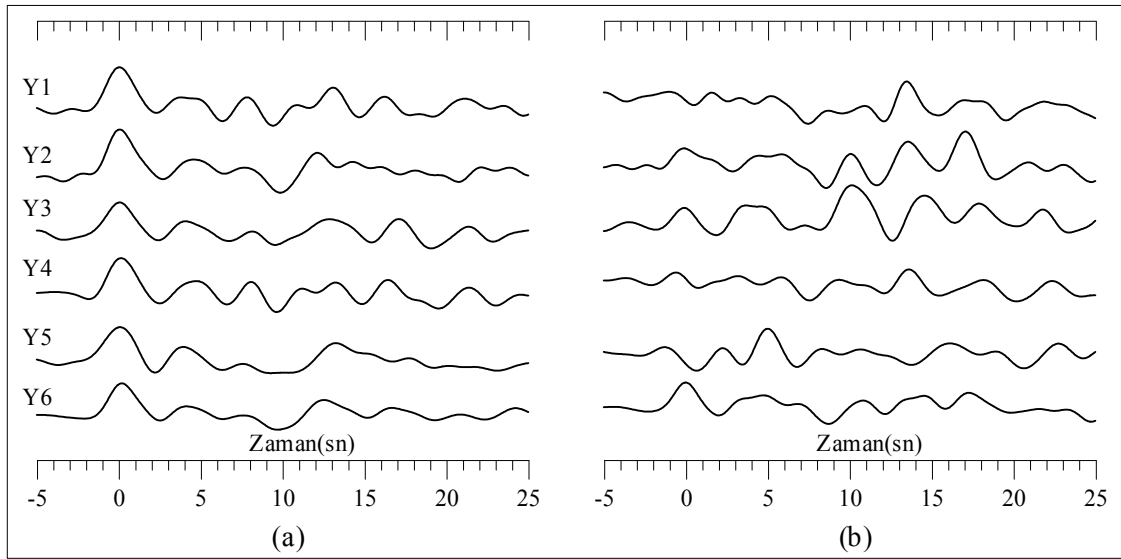
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan depremlerin parametreleri

No	Date	Origin time	Lat. (°)	Long. (°)	Azimuth (°)	Distance (°)	Depth (km)	Magnitüde
1	961222	14:53:27.62	43.21	138.92	45.54	76.47	226	6.5
2	970513	14:13:45.74	36.41	70.95	79.95	32.10	196	6.5
3	971005	03:29:00.97	45.51	151.10	37.79	81.30	71	5.8
4	971128	06:10:47.58	47.14	145.60	39.32	77.45	393	5.7
5	971220	13:26:31.57	53.42	152.76	31.41	76.32	614	5.9
6	980117	10:39:06.50	45.85	152.33	36.91	81.65	72	5.8
7	980214	00:08:07.82	36.36	71.11	79.98	32.24	218	5.5
8	980220	12:18:06.23	36.48	71.10	79.77	32.19	236	6.4
9	980308	00:35:42.17	20.58	122.14	72.64	78.90	158	5.8
10	980818	18:00:12.76	45.85	149.12	38.54	80.10	116	5.7
11	980823	05:36:12.92	14.69	120.05	78.63	80.77	70	6.1
12	981003	11:15:42.69	28.51	127.62	63.15	78.23	227	6.1
13	990109	03:05:37.57	44.39	147.31	40.51	80.22	119	5.8
14	990308	12:25:48.90	52.07	159.52	29.17	80.05	57	6.8
15	990508	19:44:35.90	45.45	151.62	37.55	81.61	63	6.2
16	990512	17:59:22.40	43.03	143.84	43.27	79.31	103	6.1
17	990621	17:37:29.40	36.41	70.73	80.05	31.93	253	5.7
18	990629	23:18:06.00	36.75	71.35	79.18	32.33	188	5.8
19	200512	23:10:29.98	35.97	70.66	80.86	31.99	107	6.3
20	200606	09:58:06.77	-5.09	102.70	105.11	79.19	33	6.2
21	200607a	21:46:55.90	26.86	97.24	80.31	56.36	33	6.5
22	200607b	23:45:26.68	-4.61	101.90	105.26	78.27	33	6.7
23	200610	18:23:29.32	23.84	121.22	70.46	76.31	33	6.4
24	200710	09:59:18.99	46.83	145.42	39.64	77.57	359	6.1
25	200717	22:53:47.30	36.28	70.92	80.20	32.11	141	6.4
26	200912	00:28:02.03	35.37	99.34	70.11	54.14	33	6.3

Yapay sismogramların ve bunlara bağlı alıcı fonksiyonlarının hesaplanmasında yer kabuğu yatay tabakalı olarak alınmaktadır. Yani kabuk sınırını oluşturan Moho süreksizliği yataydır. Moho süreksizliğinin önemli bir eğime sahip olması durumunda farklı azimutlu olayların bu süreksizliğe geliş açıları ve kabuk içerisinde katedecekleri yolları farklı olacaktır. Eğer böyle bir durum söz konusu ise dalga şekilleri azimuta bağlı olarak önemli değişiklikler gösterecektir. Bu durumda değişik azimutlu olayların gruplandırılarak kendi içlerinde ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde alıcı fonksiyonlarında sinyal-gürültü oranını yükseltmek için kullanılan yığılma işleminde bozulmalara yol açarak hatalı yorumlamalara neden olacaktır. Ayrıca kullanılan depremlerin istasyona olan uzaklıklarına bağlı olarak geliş açılarından kaynaklanacak etkiye de dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğimli süreksizlik olasılığı ve geliş açısından kaynaklanacak fazların zaman farklılığı gözönüne alınarak yığılma (stack) için depremler uzaklıklarına ve azimutlarına göre 6 gruba bölünmüş Şekil 2'de yığılmış dalga şekilleri verilmiştir (Çizelge 2).

Alıcı fonksiyonu modellemesi hem nicel hem de nitel olarak tek istasyonda kaydedilen üç bileşen kayıtları ile istasyon altı hız yapılarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Bu teknik uzak alan cisim dalgası yorumlamasını zorlaştıran sismogramlar üzerindeki bir çok karmaşıklığı elimine etme avantajına sahip olması nedeniyle kabuk yapısı belirleme çalışmalarında kesin yaklaşımlar sağlar. Alıcı fonksiyonu S dalga hızına daha duyarlı olmasına karşın P dalga hızı ve yoğunluğun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Sandvol vd., 1998). Bu belirtme göz önüne alındığında S dalga hızı için hem kabuk hem de mantodaki küçük değişimlerin alıcı fonksiyonu dalga şeklinde yoğunluk ve P dalga hızına göre biraz daha fazla değişim oluşturacağı açıktır. Bu nedenle yapay olarak üretilecek sismogramlarda S dalga hızının diğerlerine nazaran biraz daha ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 2. Yığınsal gözlemsel alıcı fonksiyonu boyuna (a) ve enine (b) dalga şekilleri

Tüm modelleme tekniklerinde olduğu gibi alıcı fonksiyonu yönteminde de tekil çözümsüzlük problemi vardır. Bunun nedeni ise bilinen verilerden daha çok bağımsız bilinmeyene (yoğunluk, P dalga hızı, S dalga hızı, tabaka kalınlığı, vb.) sahip olunmasıdır. Tekil çözümsüzlük probleminden mümkün olduğunca uzaklaşabilmek için bazı bağımsız

bilinmeyenlerin bağımlı veriler haline getirilmesi gereklidir. Bunun içinde bazı kabullerin yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2. Depremlerin yığma için gruplandırılması.

Grup	Azimut (°)	Uzaklık (°)	Deprem No
Y1	$30 \leq z \leq 45$	$76 \leq \Delta \leq 78$	1, 4, 5, 24
Y2	$70 \leq z \leq 80$	$30 \leq \Delta \leq 33$	2, 7, 8, 17, 18, 19, 25
Y3	$60 \leq z \leq 80$	$76 \leq \Delta \leq 80$	9, 11, 12, 23
Y4	$28 \leq z \leq 41$	$80 \leq \Delta \leq 82$	3, 6, 10, 13, 14, 15, 16
Y5	$70 \leq z \leq 80$	$54 \leq \Delta \leq 57$	20, 21
Y6	$100 \leq z \leq 110$	$78 \leq \Delta \leq 80$	22, 26

Bunlardan birincisi Poisson oranı (σ) yardımıyla S dalga hızından P dalga hızının Eşitlik 1 ile hesaplanmasıdır.

$$V_p = V_s \sqrt{\frac{2 - 2\sigma}{1 - 2\sigma}} \quad (1)$$

İkincisi ise yoğunluk hesabı için Birch tarafından geliştirilen yoğunluk ve P dalga hızı (V_p) arasındaki aşağıdaki bağıntının kullanılmasıdır (Birch, 1964).

$$\rho = 0.77 + 0.302V_p \quad (2)$$

Kabuk yapısının belirlenmesinde kullanılacak olan yapay alıcı fonksiyonlarının hesaplanmasında Haskell yayıcı matris (propagator matrix) tekniği ve aralık tarama yönteminin (Grid Search) kullanılmasına karar verilmiştir (Haskell, 1960; Haskell, 1962). Aralık tarama yönteminde yer yapısının kaç tabakadan oluşturulacağı, her bir tabakaya ait hız, yoğunluk, kalınlık gibi parametrelerin hangi sınırlar arasında değişeceği önceden tanımlanır. Tanımlanan bu sınırlar içerisinde her bir parametrenin değeri önceden belirlenen artım miktarında değiştirilerek parametre uzayı içerisinde yapay sismogramlar hesaplanır.

Bu amaca yönelik olarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır (Kalyoncuoğlu, 2001). Bu program, alet büyütmesi giderilmiş gözlemsel üç bileşen yada daha önce gözlemsel alıcı fonksiyonu hesaplanmış sismogram girişi ile yapay olarak hesaplanan alıcı fonksiyonu sismogramını zaman ortamında doğrudan karşılaştırmaktadır. Bu karşılaştırma işlemi gözlemsel ve yapay alıcı fonksiyonları arasındaki farkın minimum olması ilkesine dayandırılarak yapılmaktadır.

3. ISPARTA İSTASYON VERİLERİNİN ANALİZİ

Tüm modeller içerisinde P ve S dalga hızları, yoğunluk, tabaka kalınlıkları ve Poisson oranı değerleri minimum ve maksimum değer aralıkları içerisinde taranarak ilksel bir modele bağlı kalmadan parametre uzayının kapsadığı alanda en iyi uyumun yakalanacağı yapı araştırılmıştır. Aralık tarama yöntemine göre Çizelge 3'te verilen yapı modelleri incelemeye tabi tutulmuştur.

Öncelikli olarak yarı sonsuz ortam üzerinde tek tabakalı Model -1 incelemeye alınarak kabuğa ve üst Manto'ya ait ortalama parametrelerin belirlenmesine çalışılmıştır. Belirtilen bu aralık içerisinde 6 guruba ayrılmış yığılmış alıcı fonksiyonu sismogramları, hesaplanan yapay alıcı fonksiyonu sismogramları ile karşılaştırılmıştır.

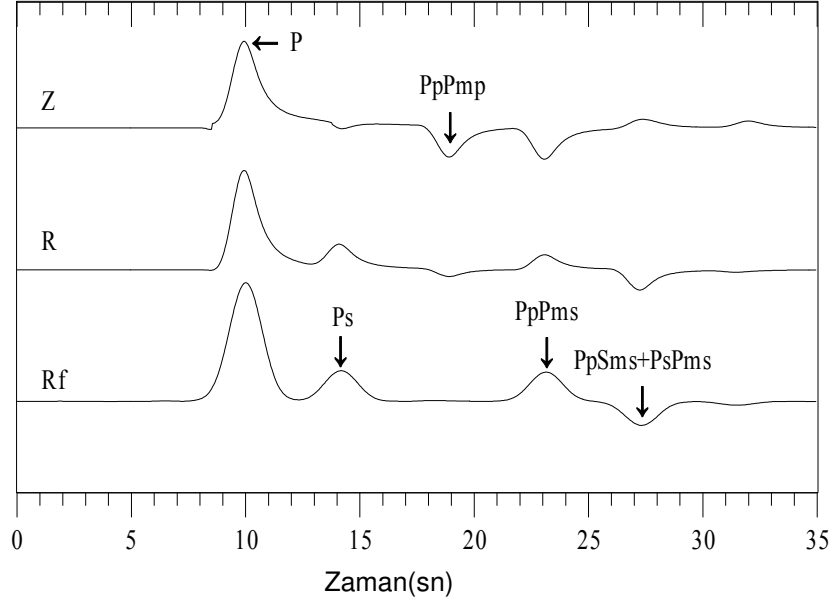
Tek tabakalı yapı için gözlemsel yığılmış alıcı fonksiyonları ile en iyi uyumun sağlandığı modele ait ortalama parametreler, S dalga hızı $V_s=3.6\pm 0.1$ km/s, P dalga hızı $V_p=6.5\pm 0.1$ km/s, tabaka kalınlığı 32 ± 2 km, yoğunluk $\rho=2.7\pm 0.1$ gr/cm³ ve poisson oranı 0.27 ± 0.01 olarak tespit edilmiştir. Yarı sonsuz ortam içinse $V_s=4.5\pm 0.1$ km/s, $V_p=8.0\pm 0.2$ km/s olarak bulunmuştur.

Belirlenen yapı için gözlemsel ve yapay boyuna alıcı fonksiyonları arasında P dalga varışından itibaren 25s'lik pencere uzunluğunda yaklaşık %56±2'lik uyum ve 0.02-0.004 arası standart sapma değerleri elde edilmiştir. Aynı yapı için P ilk varışından itibaren 8s'lik pencere uzunluğunda ise %90±5 lik uyum ve 0.00001-0.00002 arasında bir standart sapma değeri bulunmuştur.

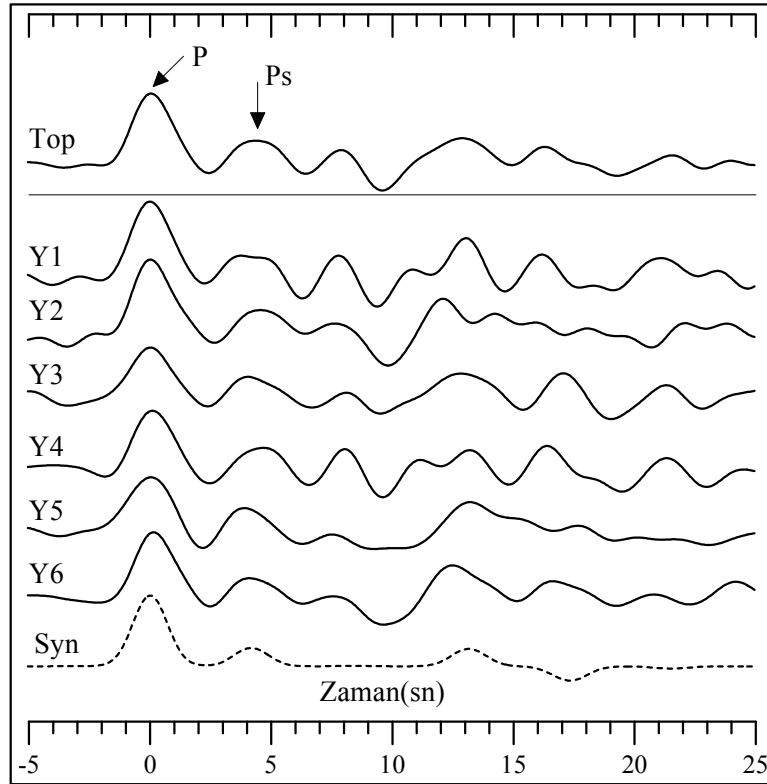
Bu aralık içerisinde en yüksek uyumun elde edildiği 32 km kalınlığındaki yapı için hesaplanan yapay düşey ve boyuna bileşen, bunlardan dekonvolüsyon ile elde edilen yapay alıcı fonksiyonu sismogramı Şekil 3'te, gözlemsel yığılmış alıcı fonksiyonları ile karşılaştırılması ise Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Yapay alıcı fonksiyonu hesaplamalarında kullanılan aralık tarama (Grid Search) yöntemine göre hazırlanmış modeller

No	ΔV_s (km/s)	ΔH (km)	V_s (km/s)		H (km)		σ		$\Delta\sigma$	Vp hız değişimi (km/s)
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		
Model – 1										
1	0.10	1.0	2.80	4.20	10.0	50.0	0.25	0.30	0.01	4.85 – 7.85
2	0.10	-	4.00	4.60	-	-	0.25	0.30	0.01	6.92 – 8.60
Model – 2										
1	0.10	1.0	2.50	4.00	5.0	20.0	0.25	0.30	0.01	4.33 – 7.48
2	0.10	1.0	2.50	4.00	5.0	20.0	0.25	0.30	0.01	4.33 – 7.48
3	0.10	-	4.00	4.60	-	-	0.25	0.30	0.01	6.92 – 8.60
Model – 3										
1	0.10	1.0	2.00	3.00	1.0	10.0	0.25	0.30	0.01	3.46 – 5.61
2	0.10	1.0	2.60	3.60	4.0	20.0	0.25	0.30	0.01	4.50 – 6.73
3	0.10	1.0	3.00	4.00	4.0	20.0	0.25	0.30	0.01	5.19 – 7.48
4	0.10	-	4.00	4.60	-	-	0.25	0.30	0.01	6.92 – 8.60
Model – 4										
1	0.10	1.0	2.00	3.00	1.0	10.0	0.25	0.30	0.01	3.46 – 5.61
2	0.10	1.0	2.60	3.40	4.0	20.0	0.25	0.30	0.01	4.50 – 6.36
3	0.10	1.0	2.80	3.60	4.0	20.0	0.25	0.30	0.01	4.85 – 6.73
4	0.10	1.0	3.00	3.80	4.0	20.0	0.25	0.30	0.01	5.19 – 7.11
5	0.10	-	4.00	4.60	-	-	0.25	0.30	0.01	6.92 – 8.60
Model – 5										
1	0.10	1.0	2.00	2.50	1.0	30.0	0.25	0.30	0.01	3.46 – 4.67
2	0.10	1.0	2.50	3.00	1.0	30.0	0.25	0.30	0.01	4.67 – 5.61
3	0.10	1.0	2.60	3.40	1.0	30.0	0.25	0.30	0.01	4.50 – 6.36
4	0.10	1.0	2.80	3.60	1.0	30.0	0.25	0.30	0.01	4.85 – 6.73
5	0.10	1.0	3.00	4.00	1.0	30.0	0.25	0.30	0.01	5.19 – 7.48
6	0.10	-	4.00	4.60	-	-	0.25	0.30	0.01	6.92 – 8.60



Şekil 3. 32 km kalınlığındaki tek tabakalı kabuk için gelen P dalgasına göre yapay olarak üretilmiş düşey (Z), boyuna (R) bileşenleri ve bunlardan hesaplanmış yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Rf)



Şekil 4. Farklı azimut ve uzaklıklara sahip olan 6 gruba ayrılmış ölçülmüş yığılmış ve genelleştirilmiş boyuna alıcı fonksiyonu (Top) sismogramları (sürekli çizgi) ile Model-1'den belirlenen yapıya ait yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Syn) sismogramının (kesikli çizgi) karşılaştırması

Gözlemsel yığılmış boyuna alıcı fonksiyonu sismogramları ile tek tabakalı yapay boyuna alıcı fonksiyonu sismogramı karşılaştırmasında görülen genel dalga şekilleri ve Ps fazı arasındaki uyum tek tabakalı modelden beklenen toplam kalınlığın belirlenmesi için yeterli

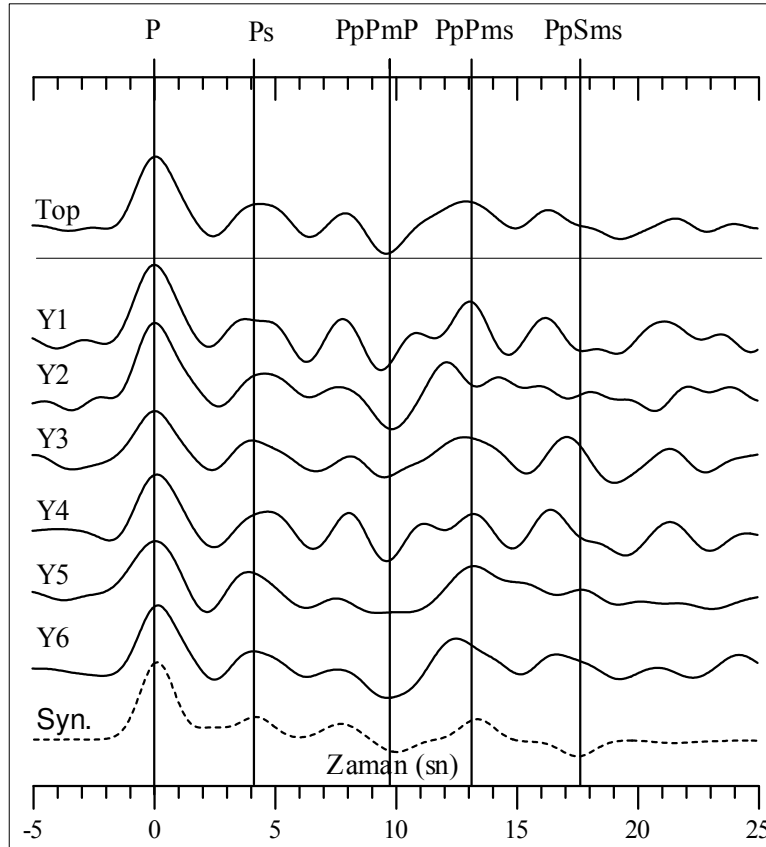
bir uyum düzeyidir. Burada gözlemsel ve yapay sismogramlar arasındaki uyum varış zamanlarının, hızlar ve toplam kalınlığın iyi bir şekilde elde edilmiş olduğunu göstermekle birlikte bütün alıcı fonksiyonlarının çok küçük bir aralıkta benzer sonuç vermesi yapının incelenen alan içerisinde eğimli olsa da bunun çok küçük olduğunu ve yatay olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. Tek tabakalı model için P-Ps zaman farkı $\approx 4.2 \pm 0.2$ s olarak belirlenmiştir.

Yaklaşık olarak ortalama kabuk kalınlık ve hız değerleri elde edildikten sonra çok tabakalı yapı modellemesine geçilmiştir. Bu modellemelerde özellikleri Çizelge 3'te verilen Model-2, Model-3, Model-4 ve Model-5 verileri kullanılmıştır.

Model-2'de verilen parametre uzayı içerisinde belirlenen yapı için gözlemsel ve yapay boyuna alıcı fonksiyonları arasında P dalga varışından itibaren 25s'lik pencere uzunluğunda yaklaşık $\%65 \pm 2$ 'lik uyum ve 0.001-0.003 arası standart sapma değerleri elde edilmiştir. Isp-2 olarak adlandırılan bu yapıya ait bulunan tabaka parametreleri Çizelge 4'te verilmiştir

Çizelge 4. Isp-2 modeli için elde edilen tabaka parametreleri

Tabaka no	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (gr/cm ³)	H(km)
1	5.70 \pm 0.1	3.20 \pm 0.1	2.50 \pm 0.1	17 \pm 1
2	6.50 \pm 0.2	3.60 \pm 0.1	2.7 \pm 0.1	14 \pm 1
3	8.00 \pm 0.2	4.5 \pm 0.1	3.35 \pm 0.1	-



Şekil 5. Farklı azimut ve uzaklıklara sahip olan 6 gruba ayrılmış ölçülmüş yığılmış ve genelleştirilmiş boyuna alıcı fonksiyonu (Top) sismogramları (sürekli çizgi) ile Model-2'den belirlenen yapıya ait yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Syn) sismogramının (kesikli çizgi) karşılaştırması

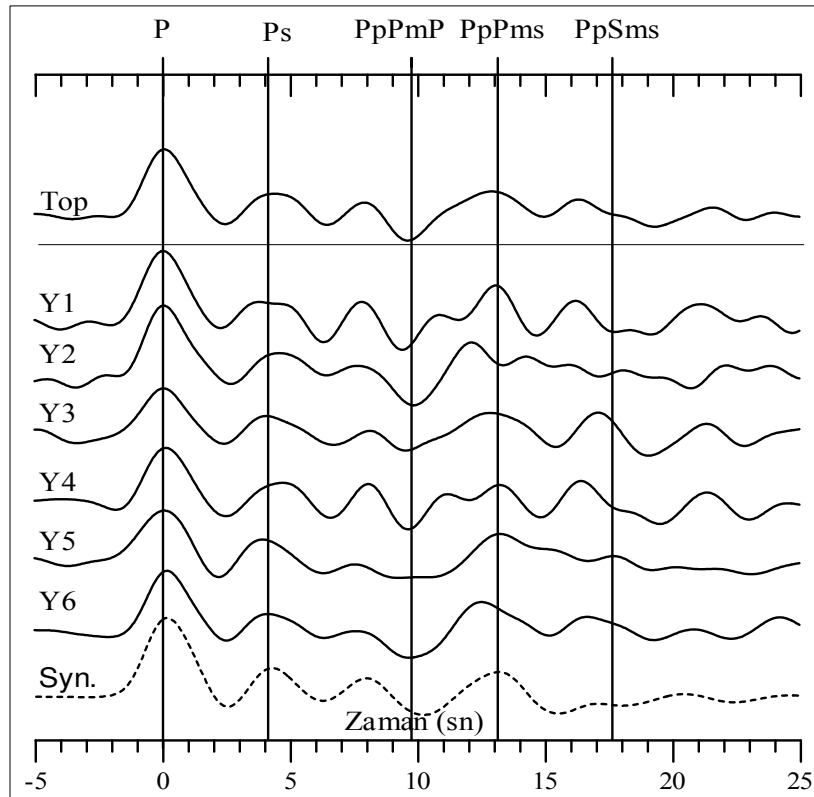
Hem her bir depreme ait gözlemsel boyuna alıcı fonksiyonu sismogramları hemde azimuta ve uzaklığa göre toplanmış her bir yığınsal boyuna alıcı fonksiyonu sismogramları içinde benzer şekilde yapay alıcı fonksiyonu sismogramları da hesaplanılarak karşılaştırılmıştır. Hemen hemen hepsinin benzer yapı için aynı uyumu gösterdiği bulunmuştur. İki tabakalı model için P-Ps zaman farkı $\approx 4.15 \pm 0.2s$ olarak belirlenmiştir.

Ölçülmüş yığınsal ve genelleştirilmiş yığınsal boyuna alıcı fonksiyonu sismogramları ile yapay boyuna alıcı fonksiyonu sismogramı karşılaştırması Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde tek tabakalı modelde net olarak görülemeyen kabuk içi tekrarlı fazların belirginleşmeye başladığı görülmektedir.

Model-3'te verilen parametre uzayı içerisinde belirlenen yapı için gözlemsel ve yapay boyuna alıcı fonksiyonları arasında P dalga varışından itibaren 25s'lik pencere uzunluğunda yaklaşık $\%85 \pm 5$ 'lik uyum ve 0.0001-0.00001 arası standart sapma değerleri elde edilmiştir. Isp-3 olarak adlandırılan bu yapıya ait bulunan tabaka parametreleri Çizelge 5'te, dalga şekli karşılaştırmaları Şekil 6'da verilmiştir

Çizelge 5. Isp-3 modeli için elde edilen tabaka parametreleri

Tabaka no	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (gr/cm ³)	H(km)
1	3.40±0.1	2.00±0.05	2.1±0.1	2±0.2
2	5.80±0.1	3.35±0.1	2.5±0.1	15±1
3	6.77±0.1	3.80±0.1	2.8±0.1	14±1
4	8.00±0.2	4.5±0.1	3.35±0.1	-



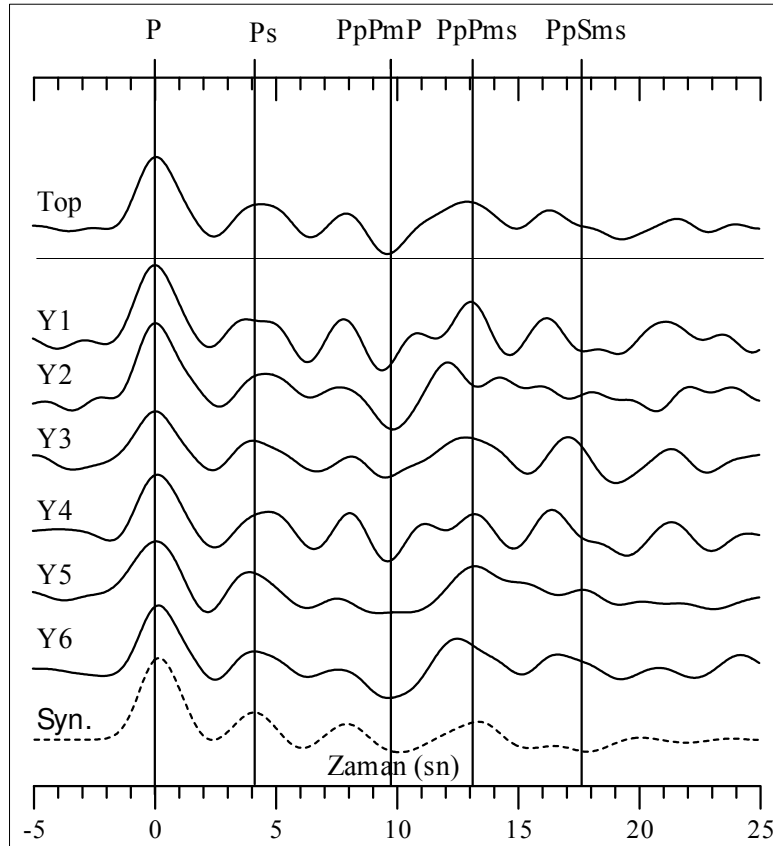
Şekil 6. Farklı azimut ve uzaklıklara sahip olan 6 gruba ayrılmış ölçülmüş yığılmış ve genelleştirilmiş boyuna alıcı fonksiyonu (Top) sismogramları (sürekli çizgi) ile Model-3'ten belirlenen yapıya ait yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Syn) sismogramının (kesikli çizgi) karşılaştırması

Belirlenen yapı için tüm alıcı fonksiyonlarında dönüşmüş ve kabuk içi tekrarlı fazların P varışına göre geliş zamanları $P_s=4.1\pm 0.15s$, $P_pP_mP=9.7\pm 0.2s$, $P_pP_mS=13.4\pm 0.3s$ ve $P_pS_mS+P_sP_mS=18.6\pm 0.3s$ olarak bulunmuştur.

Model-4'te verilen parametre uzayı içerisinde belirlenen yapı için gözlemsel ve yapay boyuna alıcı fonksiyonları arasında P dalga varışından itibaren 25s'lik pencere uzunluğunda yaklaşık $\%80\pm 5$ 'lik uyum ve 0.0001-0.0005 arası standart sapma değerleri elde edilmiştir. Model-5'te verilen parametre uzayı içerisinde belirlenen yapı için gözlemsel ve yapay boyuna alıcı fonksiyonları arasında P dalga varışından itibaren 25s'lik pencere uzunluğunda yaklaşık $\%82\pm 2$ 'lik uyum ve 0.0007-0.001 arası standart sapma değerleri elde edilmiştir. Model-4 ve Model-5 için bulunan yapı parametreleri Çizelge 6 ve Çizelge 7'de, dalga şekli karşılaştırmaları ise Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 6. Isp-4 modeli için elde edilen tabaka parametreleri

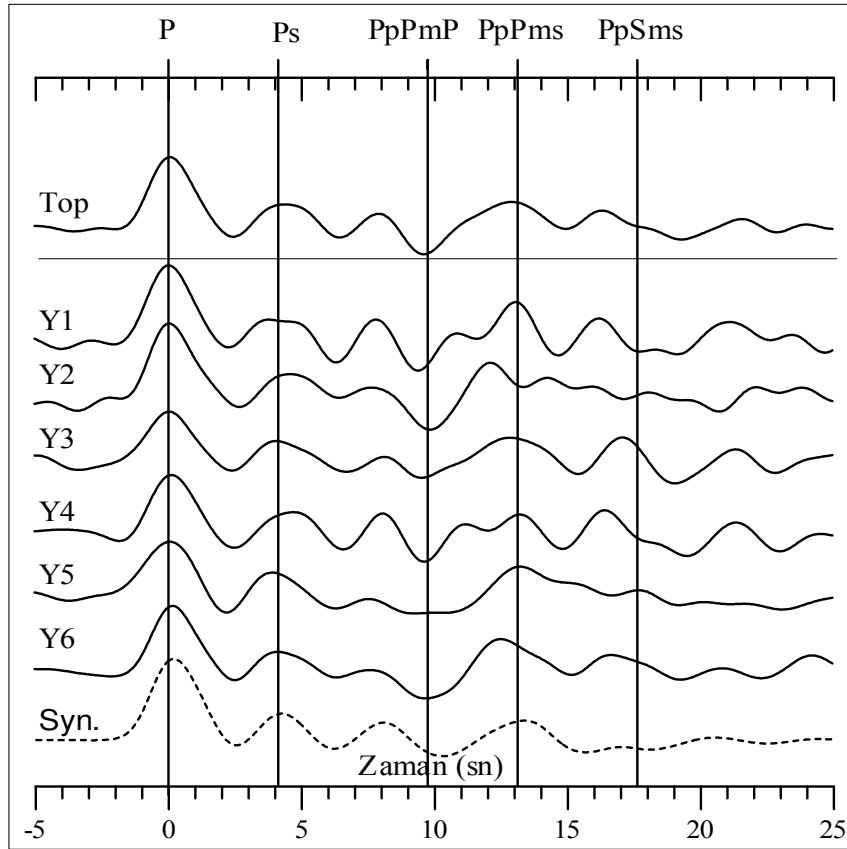
Tabaka no	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (gr/cm ³)	H(km)
1	3.40±0.1	2.00±0.05	2.1±0.1	2±0.2
2	5.70±0.1	3.20±0.1	2.5±0.1	7±1
3	6.20±0.1	3.60±0.1	2.7±0.1	8±1
4	6.77±0.1	3.80±0.1	2.8±0.1	14±1
5	8.00±0.2	4.5±0.1	3.35±0.1	-



Şekil 7. Farklı azimut ve uzaklıklara sahip olan 6 gruba ayrılmış ölçülmüş yığılmış ve genelleştirilmiş boyuna alıcı fonksiyonu (Top) sismogramları (sürekli çizgi) ile Model-4'ten belirlenen yapıya ait yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Syn) sismogramının (kesikli çizgi) karşılaştırması

Çizelge 7. Isp-5 modeli için elde edilen tabaka parametreleri

Tabaka no	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (gr/cm ³)	H(km)
1	3.50±0.1	2.00±0.05	2.1±0.1	2±0.2
2	5.70±0.1	3.20±0.1	2.5±0.1	7±1
3	5.88±0.1	3.40±0.1	2.5±0.1	8±1
4	6.60±0.1	3.80±0.1	2.8±0.1	7±1
5	6.80±0.1	3.80±0.1	2.8±0.1	7±1
6	8.00±0.2	4.50±0.1	3.35±0.1	-



Şekil 8. Farklı azimut ve uzaklıklara sahip olan 6 gruba ayrılmış ölçülmüş yığılmış ve genelleştirilmiş boyuna alıcı fonksiyonu (Top) sismogramları (sürekli çizgi) ile Model-5'ten belirlenen yapıya ait yapay boyuna alıcı fonksiyonu (Syn) sismogramının (kesikli çizgi) karşılaştırması

Buradan görüldüğü üzere 3, 4 ve 5 tabakalı modellere ait yapay alıcı fonksiyonu dalga şekillerinin uyumu 2 tabakalı dalga şekline göre oldukça yüksektir. Ayrıca, 5 tabakalı modelde toplam kalınlık değişmemesine rağmen tabakaları tanımlayan S dalga hızları arasındaki farklılığın ± 0.10 ile ± 0.20 arasında değişmesi ve özellikle P dalga hızlarının birinci tabaka hariç birbirlerine oldukça yakın olması yapıyı tanımlayan tabaka sayısının daha az olması gerektiği sonucunu vermektedir. Bu nedenle 2 ve 5 tabakalı modeller inceleme dışı bırakılmıştır. 3 ve 4 tabakalı modeller için yapılan hesaplamalar ve elde edilen alıcı fonksiyonu dalga şekilleri arasındaki gözle görülebilen benzerlik nedeniyle spekülatif ara tabakalardan kaçınmak için 3 tabakalı modelden elde edilen alıcı fonksiyonlarının yapıyı tanımladığına karar verilmiştir.

Aralık tarama yöntemi ile Isp-3 modelinden elde edilen yapay alıcı fonksiyonu sismogramları ile gözlemsel alıcı fonksiyonu sismogramları arasında en iyi uyumu sağlayan 3 tabakalı yapı için toplam kabuk kalınlığı 31 ± 1 km olarak bulunmuştur. Şekil 6'da görüleceği üzere yapay olarak elde edilen alıcı fonksiyonu sismogramlarıyla gözlemsel yığınsal alıcı fonksiyonları arasında oldukça iyi bir uyum vardır. Özellikle istasyon altı yapıda eğim olabileceği düşüncesiyle farklı azimut ve uzaklıklara göre gruplandırılan gözlemsel yığılmış alıcı fonksiyonu sismogramlarına belirlenen yapıdan elde edilen yapay alıcı fonksiyonun aynı uyumu sağlaması eğim olsa bile bunun çok küçük olduğunu doğrulamaktadır.

4. ALICI FONKSİYONU SONUÇLARININ S DALGA ŞEKLİ İLE KIYASLANMASI

S dalga şekli modellemelerinde veriler yaklaşık olarak 45° - 85° aralığındaki episantra sahip derin ve basit olaylardan seçilir. Sığ kaynak yakınlardaki P-S ve S-P faz dönüşümleri SV dalgaları için karmaşık bir kaynak fonksiyonu oluştururlar. 45° 'den daha küçük episantr uzaklıklarında S dalgası PL fazı ile birleşerek bozulur. 85° 'den daha büyük uzaklıklarda ise çekirdek fazlarınca bozularak yorumlamayı oldukça güçleştirir (Burdick ve Langston, 1977).

Ayrıca kaynağın çoğul olması durumunda birinci şokun arkasından gelen ikinci ve diğer şoklar nedeniyle oluşacak Sp fazları olaylar arasındaki zamanlar kadar geçikme ile istasyona ulaşacağı için ilk şoka ilişkin S fazı ile etkileşerek hem varış zamanları hemde genlik ve dalga şeklinde bozucu etkiler oluşturacaktır (Jordan ve Frazer, 1975).

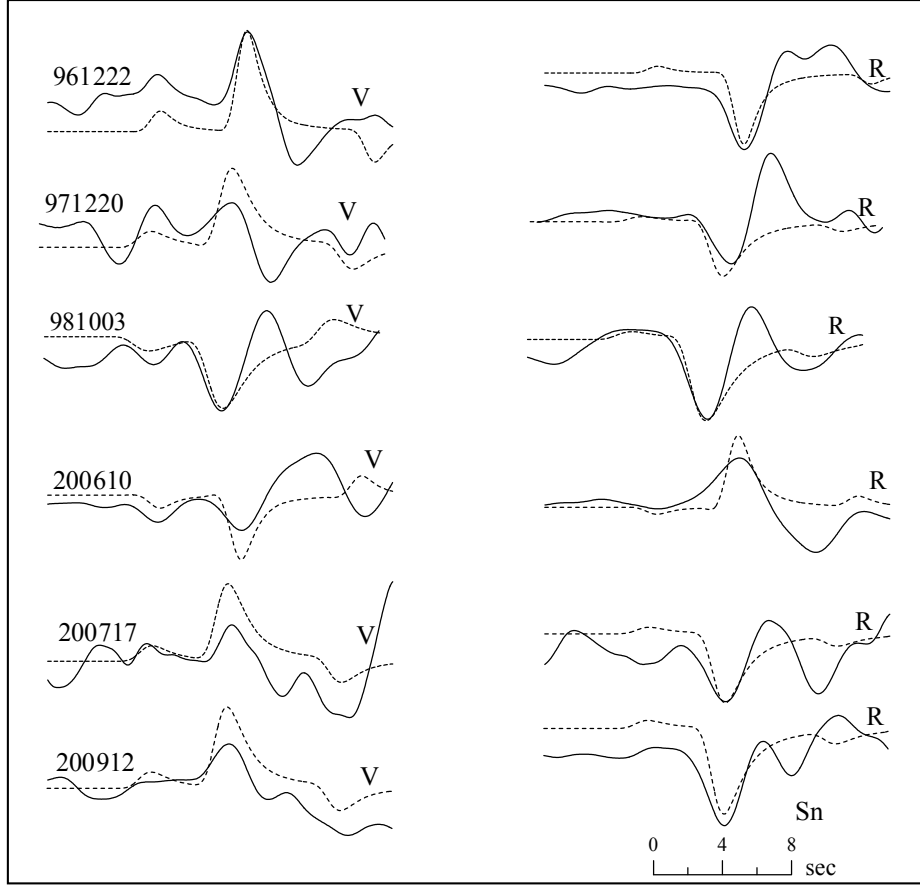
Derin depremlerin basit kaynak-zaman fonksiyonuna sahip olmaları nedeniyle yapay sismogram hesaplamalarında P dalgalarından belirlenen kaynak S dalga şekillerinin hesaplanılmasında başarı ile kullanılabilir (Burdick ve Helmberger, 1974; Özer, 1989).

S dalga şekli karşılaştırması için, P dalga şekli alıcı fonksiyonu uygulamalarında da kullanılan nispeten S fazı ve ön kısmının temiz olduğu 6 adet deprem gözönüne alınmıştır. S dalgası yapay sismogramlarının hesaplanmasında P dalgası gözlemsel düşey bileşenlerinden elde edilen kaynak fonksiyonları ile alıcı fonksiyonu hesaplamalarında iyi bir uyum sağladığı düşünülen ISP-3 modeli kullanılmıştır.

Yukarıdaki tanımlamalar doğrultusunda hesaplanan düşey ve boyuna S dalga sismogramları gözlemsel sismogramları ile birlikte Şekil 9'da verilmiştir.

S dalga şekli modellemelerinde, S fazı ve ön kısmının temiz olması düşünülürken aynı zamanda manto'da bir eğim olabileceği de dikkate alınarak farklı azimuta sahip depremler kullanılmaya çalışılmıştır. Seçilen 961222, 971220, 981003, 200610 ve 200912 depremlerinin azimutları 30° - 70° arasında değişirken episantr uzaklıkları 45° - 85° arasında alınmıştır. Yalnız 200717 depreminin azimut 80° ve episantr uzaklığı daha küçük olarak seçilmiştir. Bu depremin 45° 'den daha küçük 32° episantr uzaklığında seçilmesinin nedeni Burdick ve Langston tarafında belirtildiği gibi 45° 'den daha küçük episantr uzaklıklarında S dalga şeklinde bir bozulma olup olmadığının denemesidir (Langston, 1977).

Isp-3 modeli ile yapılan çalışmada, gözlemsel ve yapay S dalga şekilleri arasında iyi bir benzerlik olduğu görülmektedir. Bu modeller için S-Sp zaman farkları ise $\approx 4.3\pm 0.3$ s olarak bulunmuştur. Bu sonucun alıcı fonksiyonunda bulunan P-Ps zaman farkı ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. S-Sp zaman farkı kabuktaki V_p/V_s oranı ile kabuk kalınlığına karşı oldukça duyarlıdır. Her bir deprem için yapılan modellemede genel kabuk kalınlığında pek bir değişim olmazken S hızlarında görülen ± 0.10 km/s lik değişimin Moho'daki hız kontrastından değil de, bölgenin oldukça karmaşık olan tektoniği nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda ilk kadranda bulunan farklı azimutlu S dalga şekillerinin büyük bir yaklaşıklıkla benzer kabuk için uyum sağlamaları çalışılan alan için manto'da büyük bir eğimin olmadığını da göstermiştir.



Şekil 9. Yapay (kesikli çizgi) ve gözlemsel (sürekli çizgi) düşey (V) ve radyal (R) bileşen S dalga şekilleri karşılaştırması

Elde edilen diğer bir bulguda 32° episantr uzaklığına sahip 200717 depremi ile yapılan S dalga şekli modellemesinin de başarıyla gerçekleştirilmesidir. Bu sonuç, Hendrajaya vd. tarafından belirtilen 20° 'den sonra Sp fazının görülebileceği sonucunu desteklemektedir (Hendrajaya vd., 1984).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada GeoForschungsZentrum Potsdam ve S.D.Ü. Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi üç bileşen, geniş bant Isp istasyonu kayıtları kullanılarak Isparta ve civarı için kabuk ve üst manto yapısı araştırılmıştır.

Daha önce birçok araştırmacı tarafından Moho ve kabuksal ara yüzeylerde meydana gelen P-S ve S-P faz dönüşümlerinin oluştukları arayüzeyler hakkında önemli bilgiler taşıdıkları, bu faz dönüşümlerinin kabuksal tekrarlıları ile birlikte kullanıldığında kabuk yapısı ve manto hakkında oldukça duyarlı ve güvenilir sonuçlar verebileceği belirtilmiştir. Bu nitelermeler doğrultusunda, P dalga şekillerindeki S varışlarının (P'den S'ye dönüşümlerinin) modellenmesinde "Receiver Function" olarak adlandırılan alıcı fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde gözlemsel deprem verilerinden oluşturulan boyuna ve enine bileşenlerin düşey bileşenle dekonvolüsyona tabi tutularak elde edilen boyuna ve enine alıcı fonksiyonlarının yapay sismogram üretimi yoluyla elde edilen boyuna ve enine alıcı fonksiyonlarının zaman ortamında doğrudan karşılaştırılması esasına dayanır. Ayrıca,

sonuçların kontrolü için S fazı ve ön kısmı nispeten temiz olduğu S dalga şekillerinin düşey ve boyuna bileşenleri de alıcı fonksiyonunda bulunan yapı için zaman ortamında modellenmiştir.

Kullanılan yöntemin en büyük avantajı sonuçların zaman ortamında doğrudan karşılaştırılması, sıra-süre bilgilerinin korunması, özel ekipman ve arazi çalışması gerektirmemesidir.

Çalışmada zaman ortamında, S dalga şekli içerisinde S-Sp zaman farkı, alıcı fonksiyonu yöntemiyle P dalga şekli içerisinde Ps dönüşümü ve kabuk içi tekrarlıları birlikte modellenerek kabuk ve manto yapısının özellikleri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Elde edilen ortama ait yapı modelleri daha önce bölgede yapılmış jeolojik ve jeofizik çalışmalarla kontrol edilmeye çalışılmıştır. Daha önce bölgede yapılmış jeofizik çalışmalar olmadığı için yakın civar için yapılmış çalışmalardan korelasyonda yararlanılmıştır.

Isparta ve yakın civarı için yerkabuğu yapısı ile ilgili elde edilen sonuç ve bilgiler şöyle özetlenebilir:

1. Toplam kabuk kalınlığı 31 ± 1 km kadardır. Bu değer S-Sp zaman farkı, P ve S dalga şekillerinin kontrollü olarak modellenmesi ile elde edilmiştir.
2. Toplam kabuk kalınlığı değişmeden 3 ve 4 tabakalı Isp-3 ve Isp-4 modelleri gözlemsel dalga formuna en iyi uyumu sağlamıştır.
3. Her iki modelde de yüzey tabakası kalınlığı yaklaşık 2 km, P ve S dalga hızları 3.4 ± 0.1 km/s ve 2.05 ± 0.05 km/s olarak bulunmuştur.
4. Bölgenin jeolojisinin oldukça karmaşık, etrafının büyük ölçekli grabenlerle çevrilmiş ve yüzey tabakası kalınlığının her iki modelde de benzer bulunması nedeniyle spekülatif ara tabakalardan kaçınarak tortul, granitik ve bazaltik olarak düşünülebilecek 3 tabakalı Isp-3 modelinin kabuk yapısını iyi bir şekilde temsil edebileceğine karar verilmiştir.
5. Granitik olarak düşünülen 2. tabakanın kalınlığı yaklaşık 15 km, Poisson oranı değeri 0.24-0.26 arası, P ve S dalga hızları 3.3 ± 0.1 km/s ve 5.8 ± 0.1 km/s olarak bulunmuştur.
6. Bazaltik olarak düşünülen 3. tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 14 km, Poisson oranı değeri 0.26-0.29 arasında, P ve S dalga hızları ise 6.8 ± 0.1 km/sn ve 3.8 ± 0.05 km/s olarak saptanmıştır.
7. Kabuk tabanındaki üst manto hızları ise $V_p = 8.1 \pm 0.1$ km/s , $V_s = 4.5 \pm 0.1$ km/s ve yoğunluk değeri ise 3.35 gr/cm^3 olarak elde edilmiştir.

Çalışılan alana yakın civarda Saunders vd. tarafından alıcı fonksiyonu çalışmasında belirtilen Uşak, Kula ve Ankara parametreleriyle kıyaslandığında kabuğa ait belirlenen parametreler ile yarı sonsuz ortam için bulunan sonuçların çalışılan bölge için oldukça uyumlu olduğu görülmüştür (Saunders vd., 1998).

Makris, Makris ve Veas, Makris ve Stobbe, Mindevalli vd. Ege bölgesi için yaptıkları çalışmalarda ortalama kabuk kalınlığının 22-32 km arasında değiştiğini belirtmişlerdir (Makris, 1976; Makris ve Veas, 1977; Makris ve Stobbe, 1984; Mindevalli vd., 1989).

Ayrıca Kilbride yapmış olduğu doktora çalışmasında; volkanik birimlerin ve genç sedimanların oluşturduğu yüzey tabakalarının Poisson oranının 0.23-0.24, kuvarsça zengin örneğin granit ve kumtaşı gibi kayaların Poisson oranının 0.23-0.26, kuvarsça fakir olan kayaların Poisson oranının 0.28-0.32 arasında değiştiğini belirtmiştir (Kilbride, 2000).

Yukarıda belirtilen diğer araştırmacılar tarafından sunulan bilgiler bölge için yapılmış bulunan çalışmamızla oldukça uyumlu ve destekler niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Ammon C.J. (1991): "The Isolation of Receiver Function from Teleseismic P Waveform", Bull. Seism. Soc. Am., V.81, p. 2504-2510.
- Ammon C.J., Zandt G. (1993): "Receiver Structure Beneath the Southern Mojave Block, California", Bull. Seism. Soc. Am., V.83, p. 737-755.
- Ammon C.J., Randall G.E., Zandt G. (1990): "On The Nonuniqueness of Receiver Function Inversion", J. Geophys. Res., V.95, p. 15303-15318.
- Birch F. (1964): "Density and Composition of Mantle and Core", J. Geophys. Res., Vol.69, p. 4377-4388.
- Burdick L.J., Helmberger D.V. (1974): "Time Functions Appropriate for Deep Earthquakes", Bull. Seism. Soc. Am., V.64, p. 1419-1428.
- Burdick L.J., Langston C.A. (1977): "Modeling Crustal Structure Through The Use of Converted Phases in Teleseismic Body-Wave Forms", Bull. Seism. Soc. Am., V.67, p. 677-691.
- Canitez N. (1969): "Türkiye ve Civarındaki Depremleri Ait Fondamental Moddan Yüzey Dalgaları Üzerine İncelemeler", Tubitak Projesi, MAG-150.
- Coban H., Flower M.F., Dilek Y. (2001): "Geodynamics Significance of Potassic and Ultrapotassic Magmatizm in Collision Zones. New Evidence From Sw Turkey", Adana, 4th Int. Turkish Geol. Symp., p. 306.
- Çakır Ö., Erduran M., Çınar H., Yılmaztürk A. (2000): "Forward Modelling Receiver Functions for Crustal Structure Beneath Station Tbz (Trabzon, Turkey)", Geophys. J. Int., Vol.140, p. 341-356.
- Dumont J.F., Uysal Ş., Şimşek Ş., Karamenderesi İ.H., Letouzey J. (1979): "Formation of the Grabens in Southwestern Anatolia", Maden Tetkik ve Arama Enst. Dergisi, N. 97, s. 7-17.
- Ezen Ü. (1983): "Kuzey ve Doğu Anadolu'da Love Dalgalarının Dispersiyonu ve Yerkabuğu Yapısı", Depr. Araş. Bül., Sayı:43, S.42-62.
- Haskell N.A. (1960): "Crustal Reflections Of Plane Sh Waves", J. Geophys. Res., V.60, p. 4147-4150.
- Haskell N.A. (1962): "Crustal Reflections Of Plane P and Sv Waves", J. Geophys. Res., V.67, p. 4751-4767.
- Hendrajaya L., Muirhead K.J., Bock G. (1984): "Observations of The Phases Sp At The Distances Less Than 40°", Geophys. J. Roy. Astr. Soc., V.78, p. 307-312.
- Jordan T.H., Frazer L.N. (1975): "Crustal and Upper Mantle Structure From Sp Phases", J. Geophys. Res., V.80, p. 1504-1518.
- Kalyoncuoğlu Ü.Y. (2001): "Isparta Sismograf İstasyonu Altındaki Yerkabuğu ve Üst Manto Yapısının Belirlenmesi", Kocaeli, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kenar Ö. (1978): "Sismik P Dalgalarının Genlik Spektrumlarından Yararlanarak İstanbul ve Civarında Yerkabuğu Yapısı", Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- Kenar Ö., Toksöz M.N. (1989): "Anadolu Yarımadasında Yüzey Dalgalarının Dispersiyonu ve Ortamın Soğurma Özellikleri", Jeofizik, Cilt.3, Sayı:2.
- Kilbride F.E.A. (2000): "Receiver Function Studies in The Southwestern United States and Correlation Between Stratigraphy and Poisson's Ratio", Phd Thesis, The University of Texas, El Paso, USA.
- Koçyiğit A. (1980): "Hoyran Gölü Yöresinin (Afyon-Isparta) Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri", A.Ü. Fen Fak., Genel Jeol. Kürs., Doçentlik Tezi (Yayımlanmamış).

- Koçyiğit A. (1983): "Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) Dolayının Tektoniği", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt.26, Sayfa 1-10.
- Koçyiğit A. (1984): "Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayının Levha İçi Yeni Tektonik Gelişimi", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt.27, Sayfa 1-16.
- Langston C.A. (1979): "Structure Under Mount Rainier, Washington, Inferred From Teleseismic Body Waves", J. Geophys. Res., V.84, p. 4749-4762.
- Makris J., Stobbe C. (1984): "Physical Properties and State of The Crust and Upper Mantle of The Eastern Mediterranean Sea Deduced From Geophysical Data", Marine Geol., V.55, p. 347-363.
- Makris J., Veis R. (1977): "Crustal Structure of Central Aegean Sea and The Island of Evvia and Crete, Greece, Obtained From Refraction Seismic Experiments", J. Geophys., V.42, p. 329-341.
- Makris J. (1976): "A Dynamic Model of The Hellenic Arc Deduced From Geophysical Data", Tectonophysics, V.36, p. 339-346.
- Mindevalli Ö.Y., Öznur Y., Mitchell B.J. (1989): "Crustal Structure and Possible Anisotropy in Turkey From Seismic Wave Dispersions", Geophys. J. Int., V.98, p. 93-106.
- Osmanşahin İ. (1989): "Yüzey Dalgası Ortam Tepki Fonksiyonlarından Yararlanarak Anadolu ve Civarında Kabuk ve Üst-Manto Yapısının Belirlenmesi", Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Owens T.J., Crosson R.S., Hendrickson M.A. (1988): "Constraints on The Subduction Geometry Beneath Western Washington From Broadband Teleseismic Waveform Modeling", Bull. Seism. Soc. Am., V.78, p. 1219-1234.
- Özer M.F. (1989): "Dönüşmüş Fazlarla Yerkabuğu Yapısı Modellemesi", Trabzon, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgül N. (1976): "Toroslar'ın Bazı Temel Jeoloji Özellikleri", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt.2, Sayfa 65-78.
- Pınar A. (1998): "Source Inversion of The October 1, 1995, Dinar Earthquake ($M_s=6.1$): A Rupture Model With Implications for Seismotectonics in SW Turkey", Tectonophysics, V.292, p. 255-266.
- Poisson A. (1990): "Neogene Thrust Belt in Western Taurides. the Imbricate Systems of Thrust Sheets Along a NNW-SSE Transect", IESCA-1990, p. 224-235.
- Sandvol E., Seber D., Calvert A., Barzangi M. (1998): "Grid Search Modeling of Receiver Functions: Implications for Crustal Structure in Middle East and North Africa", J. Geophys. Res., V.103, p. 899-917.
- Saunders P., Priestley K., Taymaz T. (1998): "Variations in The Crustal Structure Beneath Western Turkey", Geophys. J. Int., V.134, p. 373-389.