

Sentetik Sismogram Eldesi ile Batı Anadolu'da Yer Kabuğunun Yapısının İncelenmesi

Investigation of the Structure of the Crust in Western Anatolia Using Synthetic Seismogram

Gündüz AYTİN HORASAN* ve Nezih CANİTEZ**

ÖZET

Bu çalışmada Bouchon (1981)' in ayrık dalga sayısı toplama yöntemi (discrete wave number summation method) kullanılarak tam (complete) bir sentetik sismogram elde etme yoluyla, Batı Anadolu'da kabuk yapısı modellenmeye çalışılmıştır.

Kuramsal sismogramlar önce frekans ortamında hesaplanıp, daha sonra ters Fourier dönüşümü ile zaman ortamına dönüştürülmektedir. Sismogramlar önce basit, homojen bir kabuk için, daha sonra bir kaç tabakalı kabuk için üç bileşen (radyal, teğetsel, düşey) de elde edilmişlerdir. Çok bilinen kabuk fazları yapay sismogramlar üzerinde gösterilip, seyahat zamanları ışın izleme (ray tracing) ile elde edilen, zaman - uzaklık grafiğinden belirlenmiştir.

Kuramsal kabuk modelleri kullanılarak elde edilen sismogramlar arasında gözlemsel sismogramlara en iyi uyan kuramsal sismogramlar, ortamı en iyi temsil eden model değişkenlerini vermektedirler.

Model değişkenlerine göre Batı Anadolu için bulunan toplam kabuk kalınlığı yaklaşık 31 km, P_n dalga hızı da 7.85 km/s dir. Yüzeyden 10-15 km derinlikte, ince bir düşük hız tabakasının varlığı

kabul edilmektedir.

ABSTRACT

In this study it was tried to model out the crustal structure of Western Anatolia using complete synthetic seismograms with the discrete wave number summation method (Bouchon, 1981). All synthetic seismograms are computed in the frequency domain and then the inverse Fourier transforms are calculated. Synthetic seismograms are computed for homogeneous and layered crustal models for 3 component (Radial, Tangential, Vertical).

The crustal phases were pointed out on the synthetic seismograms. The phases on the synthetic seismogram are found out from the travel time graphics using a ray tracing program. All vertical synthetic seismograms are compared with the recorded ones. Synthetic seismograms which fits best to the observed ones are describing the model best. According to the resulting model parameter in this research, the total thickness of the crust in Western Anatolia is approximately 31 km. There is a low velocity layer at the 10-15 km depth and P_n velocity is 7.85 km/s.

GİRİŞ

Bilindiği gibi Türkiye'de yer kabuğu yapısına ilişkin çok az bilgi bulunmaktadır. Bu bilgiler gravite anomalileri (Canitez, 1962), yüzey dalgalarının dispersiyonu (Canitez, 1969) cisim dalgalarının spektral özellikleri (Kenar, 1977), manyetotellurik sondaj (İlkışık, 1980,1990), taş ocağı patlatmaları (Gürbüz ve diğ.,1980; Gürbüz ve Üçer,1985), depremlere ait zaman-uzaklık verilerinin değerlendirilmesi (Chen, 1980; Canitez ve Toksöz, 1980; Necioğlu ve diğ.,1981; Kalafat ve diğ., 1985; Gürbüz ve diğ., 1992) gibi çalışmalardan sağlanmışır. Bunların bir kısmı yerel yer kabuğu yapısına yönelikse de, bir kısmı oldukça geniş

alanları karakterize eden, bölgesel denebilecek ölçüde çalışmalardır. Kabuk yapısını incelemeye yönelik ciddi bir sismik kırılma çalışması ise yoktur.

Bu çalışmada sentetik sismogram eldesi ile batı Anadolu'daki kabuk yapısı modellenmeye çalışılmıştır. Bilindiği gibi günümüzde kuramsal sismogramların elde edilmesinde, amaca ve probleme uygun olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Gözlemsel sismogramlara uyan, kuramsal sismogramların elde edilmesi için kullanılan uygun modeller o bölge veya yerin yapısal özelliği hakkında aydınlatıcı bilgiler vermektedirler. Bu çalışmada tabakalı bir ortamda bir nokta kaynağa ait yapay sismogram hesabı için Bouchon (1981) in ayrık

* B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü.,81220, Çengelköy - İstanbul
** I.T.Ü. Maden Fakültesi, JEOFİZİK Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak - İstanbul

dalga sayısı toplama yöntemi kullanılarak, bölgesel uzaklıkta tam bir sentetik sismogram elde edilmiştir. Elde edilen bu sismogramlarla, gözlemsel sismogramların karşılaştırılması sonucunda Batı Anadolu'da yer kabuğundaki yapısal farklılıklar incelenmeğe çalışılmıştır.

Bilindiği gibi, bölgesel uzaklıklarda kaydedilen sismogramlar üzerinde iyi bilinen kabuk fazları P_n , P_g , S_n , S_g ve L_n , R_g dir. Yer kabuğu incelemesine ilişkin önceki çalışmalarda genellikle bu dalga fazlarının çeşitli uzaklıklardaki seyahat zamanlarından oluşan zaman - uzaklık grafikleri incelenerek bu seyahat zamanlarını verecek yer içi yapıları bulunmağa çalışılırdı. Halbuki, yer içinin katmanlı yapısı sismik dalgaların yalnız seyahat zamanlarını değil, onların dalga biçimlerini de etkilemektedir. Yapay sismogramların oluşturulmasıyla seyahat zamanlarının yanında dalga biçimleri de hesaplanmış olduğundan, bu yolla sismogramlardan maksimum bilgi sağlanmış olmaktadır.

TABAKALI HOMOJEN BİR ORTAMDA AYRIK DALGA SAYISI YÖNTEMİ

Yöntem bir kaynak tarafından yaratılan elastik dalga alanının ayrıklaştırılmasını temel almaktadır. İlk olarak 1977 yılında Bouchon ve Aki tarafından 2 boyutlu bir sismik kaynağın ayrık dalga sayısı yaklaşımının belirlenmesi amacı ile geliştirilmiştir. Daha sonra yöntem, 3 boyutlu bir sismik kaynak için geliştirilmiştir (Bouchon, 1979,1981).

Yöntemin prensibi enerjinin sadece ayrık yönlerde yayıldığı, homojen, izotropik bir ortamda bulunan periyodik bir kaynak dizini gerçeğine dayanmaktadır (Bouchon ve Aki, 1977). Tek bir kaynak yayılımı, dalga girişiminden dolayı, ayrık şekilde ifade edilebilen bir eşdeğer kaynak dizini ile temsil edilmektedir. Ayrıklaştırma işlemi tamdır ve kaynağın periyodik diziliminin bir sonucudur. Aşağıda yöntemin 2 boyutta ve 3 boyutta gösterimine kısaca değinilecektir.

İKİ BOYUTLU DURUMDA YÖNTEMİN PRENSİPLERİ

Sonsuz homojen bir ortamda bir çizgi kaynaktan zamanla değişmeyen (steady-state) yayılım, bir silindirik dalga ile olduğu kadar, homojen ve inhomojen düzlem dalgaların sürekli bir yığılması (superposition) ile de temsil edilebilmektedir. Bu nedenle kaynak eksenine normal düzlemde yatay ve düşey eksenler sırası ile x ve z ile belirtilecek olursa, yerdeğiştirme veya gerilme gibi herhangi gözlenebilir büyüklük aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$F(x, z; w) = e^{iwt} \int_{-\infty}^{\infty} f(k, z; w) e^{-ikx} dx \quad (1)$$

Bağıntıda k yatay dalga sayısı bileşenini göstermektedir. Bu eşitlik homojen ve izotropik bir ortamda herhangi bir yatay düzlemde bulunan 2 boyutlu bir kaynak için

geçerlidir. Sonsuz sayıda kaynağın yatay x eksenı boyunca eşit L aralıklarda dağıldığı varsayılırsa, (Şekil.1), (1) bağıntısı aşağıdaki şekli almaktadır.

$$G(x, z; w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(k, z; w) e^{-ikz} \sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{ikmL} dk \quad (2)$$

dağılım (distribution) teorisinin sonuçlarını kullanarak (Schwartz, 1966, p.226) bağıntıdaki toplama işleci şöyle yazılabilmektedir.

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{ikmL} = \frac{2\pi}{L} [\delta(kL)] \text{ modulo } 2\pi \quad (3)$$

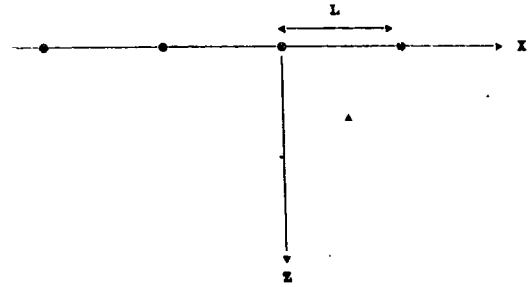
Bağıntıdaki δ impuls (dirac) dağılımını belirtmektedir. Buradan (2) bağıntısı

$$G(x, z; w) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(n, z; w) e^{-ik_n x} \quad (4)$$

$$g(n, z; w) = 2 \frac{\pi}{L} f(k_n, z; w) \quad ; k_n = \frac{2\pi}{L} n$$

şeklinde yazılabilmektedir. Şayet seri yakınsıyorsa, yakınsama sonlu toplama eşitliği ile sağlanmaktadır.

$$G(x, z; w) = \sum_{n=-N}^N g(n, z; w) e^{-ik_n x} \quad (5)$$



Şekil 1: Sentetik sismogram hesaplamasında kullanılan kabuk modelleri.

Figure 1: Crustal models used for the calculation of synthetic sismogram.

Düşünülen kaynak sisteminin zaman tepkisi sonsuz uzunlukta olduğundan, uygulamada integrali hesaplamak için ayrık Fourier dönüşümünün kullanımı zaman ortamı çözümünde katlanma (aliasing) oluşturmaktadır. Kullanılan pencerenin, dışındaki uyarımların ihmal edilebilecek kadar zayıflatılmasını sağlayacak şekilde seçilen negatif bir sanal kısmın frekansa eklenmesiyle bu etki ortadan kaldırılabilir. Bu koşul $\exp[-W_i(t_1-t_0)] \ll 1$ şeklinde yazılabilir; W_i sadece zaman aralığının uzunluğunun bir fonksiyonudur ve $W_i = -\pi/(t_1-t_0)$ olarak alınmaktadır. Frekansın sanal kısmının etkisi daha sonra zaman ortamı çözümünde ortadan kaldırılmaktadır. Aşağıda $f(t)$ impuls tepkisine ait bağıntı verilmektedir.

$$f(t) = e^{-w,t} \int_{-\infty}^{\infty} e^{iw_r t} dw_r \sum_{n=-N}^N g(n, z; w) e^{ik_n x} \quad (6)$$

İntegral hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu bağıntı belirlenen zaman penceresi içinde impuls tepkinin basit ve oldukça duyarlıklı bir şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır.

ÜÇ BOYUTLU DURUMDA YÖNTEMİN PRENSİPLERİ

Düzlem Dalgaların Toplamı

İki boyutlu ayırık dalga alanı yaklaşımı 3 boyutlu problem için de kullanılmaktadır. 3 boyutta yöntemin genelleştirilmesi karmaşık değildir. Daha yukarıda da değinildiği gibi, ayrıklaştırma işlemi tamdır ve kaynağın 2 boyutlu periyodik diziliminin sonucudur. (ox,oy,oz) kartezyen koordinat sisteminde (o,o,o) da bulunan bir kaynak için Green fonksiyonları ox ve oy ye göre 2 katlı Fourier dönüşümü ile sonsuz düzlem dalgaların bir kombinasyonu olarak düşünülmektedir.

$$F(x, y, z; w) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(k_x, k_y, z; w) e^{-ik_x x - ik_y y} dk_x dk_y \quad (7)$$

Burada k_x ve k_y yatay dalga sayılarını belirtmektedir. Herhangi bir zaman penceresi için dalga sayısı integralleri, ayırık toplama işleci cinsinden yazılırsa;

$$G(x, y, z; w) = 4 \frac{\pi^2}{L_x L_y} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(k_n, k_m, z; w) e^{-ik_n x} e^{-ik_m y} \quad (8)$$

$$k_n = \frac{2\pi}{L_x} n \quad k_m = \frac{2\pi}{L_y} m$$

eşitliği elde edilir. İki boyutlu durumdakine benzer şekilde zaman tepkisi

$$f(t) = e^{-w,t} \int_{-\infty}^{\infty} e^{iw_r t} dw_r \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M g(n, m, z; w) e^{-ik_n x - ik_m y} \quad (9)$$

$$g(n, m, z; w) = \frac{4\pi^2}{L_x L_y} f(k_n, k_m, z; w)$$

şeklinde verilmektedir. L_x ve L_y x ve y yönleri boyunca kaynak aralıklarını belirtmektedir. İmpuls tepkisi $f(t)$ $0 < t < T$ için aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$f(t) = e^{-w,t} \int_{-\infty}^{\infty} e^{iw_r t} dw_r \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M (-1)^{n+m} h(n, m, z; w) \quad (10)$$

$$h(n, m, z; w) = \begin{cases} g(n, m, z; w) & n \neq 0, m \neq 0 \\ & n \neq 0, m = 0 \\ \frac{1}{2} g(n, m, z; w) & \text{veya} \\ & n = 0, m \neq 0 \\ \frac{1}{4} g(n, m, z; w) & n = 0, m = 0 \end{cases} \quad (11)$$

dir.

Silindirik Dalgaların Toplamı

(r, θ, z) gibi bir silindirik koordinat sisteminin düşünülmesi halinde, k radyal dalga sayısını belirtmektedir. Orijinde bulunan bir kaynak için Green fonksiyonları Sommerfeld integrali şeklinde yazılabilmektedir.

$$G(r, \theta, z; w) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^L g_i(k, \theta, z; w) J_i(kr) dk \quad (12)$$

J_i : i inci dereceden Bessel fonksiyonunu göstermektedir.

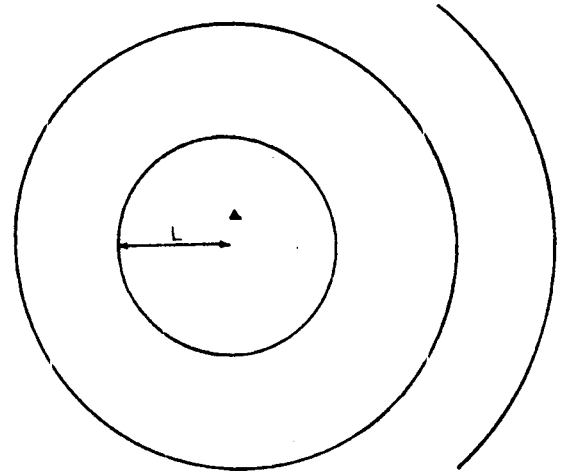
Şekil.2 de görüldüğü gibi orijinde bulunan bir kaynağa birbirinden radyal L uzaklığında bulunan iç içe geçmiş daireler üzerindeki kaynakların katkısının ilave edilmesi ile sonsuz bir seri elde edilmektedir. Tüm kaynak tepkisi aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$G(r, \theta, z; w) = \frac{\pi}{L} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon \sum_{i=0}^L g_i(k_n, \theta, z; w) J_i(k_n r)$$

$$k_n = 2 \frac{\pi}{L} xn \quad \epsilon = 1; n=0 \text{ için}$$

(13)

$\epsilon = 2$ diğer durumlar



Şekil 2: Silindirik dalgaların ayırık parçalara ayrılması için kaynak dağılımı.

Figure 2: Source distribution for discretization of cylindrical waves.

Silindirik dalgaların ayırık parçalara ayrılması (decomposition) işlemi bir düzlem tabaka ortamında silindirik simetrisinin avantajlarını sağlamaktadır. Sonuç olarak k_x ve k_y gibi iki boyutlu bir toplamaya gerek duyulan düzlem dalgaların parçalara ayrılması işlemi radyal dalga sayısı üzerinden basit bir toplamaya eşittir.

GREEN FONKSİYONLARININ AYRIKLAŞTIRILMASI

Elastik tabakalı bir ortamda Green fonksiyonları frekans ve yatay dalga sayısı üzerinden iki katlı bir integral ile ifade edilmektedir. Herhangi bir zaman penceresi için dalga sayısı integrali, ayırık (discrete) bir toplama işlemi ile tam olarak temsil edilebilmektedir. Bu ayırıklaştırma, belirlenen bir nokta kaynağa, eşit radyal uzaklıkta dağılan sonsuz sayıdaki dairesel kaynak setinin ilave edilmesi ile elde edilmektedir. Bu uzaklığın seçimi nokta kaynak tepkisi için tasarlanan zamanın uzunluğuna bağlıdır ve çözüme katkısı olan ayırık yatay dalga sayısı serisini belirlemektedir. Sonsuz homojen bir ortamda, puls gibi bir nokta kaynaktan yayılan elastik dalga alanının, sıkışma (compressional) yerdeğiştirme potansiyeli aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\phi(R, W) = \frac{e^{i\omega\left(t - \frac{R}{\alpha}\right)}}{R} \quad (14)$$

Bağıntıda ω açısal frekansı, t zamanı, R kaynak ve gözlem noktası arasındaki uzaklığı ve α sıkışma dalgası hızını belirtmektedir. Bir silindirik koordinat sisteminde (r, θ, z) , orjinde bulunan bir kaynak için (14) bağıntısı Sommerfeld integrali şeklinde ifade edilebilmektedir.

$$\phi(r, z; \omega) = -ie^{i\omega t} \int_0^\infty \frac{k}{v} J_0(kr) e^{-i\omega|z|} dk \quad (15)$$

Bağıntıdaki integrasyon işlemi yatay dalga sayısı k ya göre alınmaktadır. Yöntemin prensiplerine göre ayırıklaştırma işlemi belirlenen bir nokta kaynağa eşit radyal uzaklıkta dağılan sonsuz sayıdaki dairesel kaynak setinin ilave edilmesiyle elde edildiğinden (15) eşitliği,

$$\phi(r, z; \omega) = -\frac{i\pi}{L} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \frac{k_n}{V_n} J_0(k_n r) e^{-i\omega|z|} \quad (16)$$

$$k_n = \frac{2n\pi}{L} \quad V_n = \sqrt{k_\alpha^2 - k_n^2} \quad ; \quad I_m(V_n) \langle 0$$

yazılabilmektedir. Bu eşitlik kaynak dizini tarafından meydana getirilen tüm dalga alanını göstermektedir yani, eş eksenli halka kaynaklar tarafından yayılan elastik dalga alanının, silindirik dalgaların ayırık bir yığılması olarak ifade edilebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak bu kaynak dizininin impuls tepkisi (14) ve (15) de tanımlanan tek kaynağın, aşağıda ifade edilen T zamanı ve r uzaklığındaki impuls tepkisiyle aynıdır.

$$r \left\langle \frac{L}{2}, \sqrt{(L-r)^2 + z^2} \right\rangle \alpha t \quad (17)$$

Böylece nokta kaynak tepkisini hesaplamak için (16) eşitliğinin parçalara ayrılmasından (decomposition)

faydalanılmaktadır. (14) eşitliğine karşılık gelen Green fonksiyonundan (17) eşitliğindeki koşullar sağlandığı sürece geçerli olan aşağıdaki tam gösterim elde edilmektedir.

$$\frac{\phi\left(\frac{R}{\alpha}, t\right)}{R} = -\frac{i\pi}{L} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} d\omega \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \frac{k_n}{V_n} J_0(k_n r) e^{-i\omega|z|} \quad (18)$$

YAPAY SİMOGRAMLARIN HESABI

Çalışmada bir deprem odağından birkaç yüz kilometre uzaklıktaki kabuk fazlarının tam (complete) sismogramları elde edilmiştir. Sismogramlar Bouchon (1981) in ayırık dalga sayısı toplama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Kaynağın tabakalı bir ortamda bulunması hali için tabakalar içinde ayırık kaynak dalga yayılımı Thomson-Haskell matris yönteminin Dunkin (1965) formülasyonu kullanılarak yapılmaktadır.

Sismogramlar radyal, teğetsel, ve düşey olmak üzere 3 bileşende frekans, dalga sayısı ortamında hesaplanmaktadır. Daha sonra ters Fourier dönüşümü kullanılarak sinyalin zaman ortamındaki görüntüsü elde edilmektedir. Kaynak dizininin zaman tepkisi sonsuz olduğundan ayırık Fourier dönüşümünün kullanımı, zaman ortamındaki çözüme katlanmaya (aliasing) neden olmaktadır. Bu etkiyi gidermek için kompleks frekans değerleri kullanılmaktadır. Kompleks frekans kullanımı ayırık dalga sayısı yönteminin diğer bir özelliğidir.

Burada sizlere, Manyitüdü $m_b=5.0$ olan 24. 2. 1989 Denizli depremine ait yapay sismogramlardan örnekler gösterilecektir. Çalışmada kullanılan deprem, kısa adı ile TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) Yer Bilimleri Bölümü'nden sağlanmıştır. Bu depremin odak mekanizma çözümü "U.S. Department of Interior, Geological Survey, Earthquake Data Report" tan alınmıştır, ve normal faylanma mekanizmasına sahiptir. Kullanılan depremin episantr tayini "HYPOCENTER" programı ile yapılmıştır, ve "U.S. Department of Interior, Geological Survey, Earthquake Data Report" un değerleriyle karşılaştırılmıştır. Deprem, doğal periyodu 1 saniye olan standard kısa periyotlu sismometreler ile kaydedilmiştir. Deprem zaman bağımlılığı $[1 + \tanh(t/t_0)]$ belirlenen, bir ramp fonksiyona sahip iki kuvvet çiftli (double couple) bir nokta kaynak ile temsil edilmektedir. Kaynak zaman fonksiyonunun yükselme zamanı için $t_0=0.4$ s alınmıştır. Depremin sismik momenti birim olarak alınmıştır, ve sismogram çizimlerinde her bir iz kendi maksimum genliğine göre normalize edilmiştir. Sismogramlar 0 (statik) ve 2.5 Hz frekans aralığında hesaplanmıştır. Sismogramlar hesaplanırken önce yarı uzayın üstündeki homojen bir kabuğun tepkisi araştırılmıştır. Daha sonra değişik kalınlıkta ve hızlardaki tabakalı kabuk modelleri için ortamın tepkisi hesaplanmıştır. Gözlemsel tepkiye

en iyi uyan, tabakalı yer modeli elde edilene kadar pek çok model denenip, bunlar arasında gerçek tepkiyi en iyi şekilde veren model seçilmeye çalışılmıştır. Karşılaştırma işlemi sadece düşey bileşen kayıtları gözönünde tutularak yapılmıştır.

Ayrıca ışın izleme (Ray tracing) yoluyla değişik tabakalardan gelen dalgaların ışın yolları ve zaman uzaklık grafiği çizdirilmiştir. Daha sonra, hesaplanan bu seyahat zamanları elde edilen yapay sismogramlar üzerinde işaretlenmiştir. Sismogramlar üzerinde doğrudan gelen ve kırılıp gelen dalgalardan başka tanjansiyel bileşende L_g , düşey ve radyal bileşende R_g dalgaları görülmektedir.

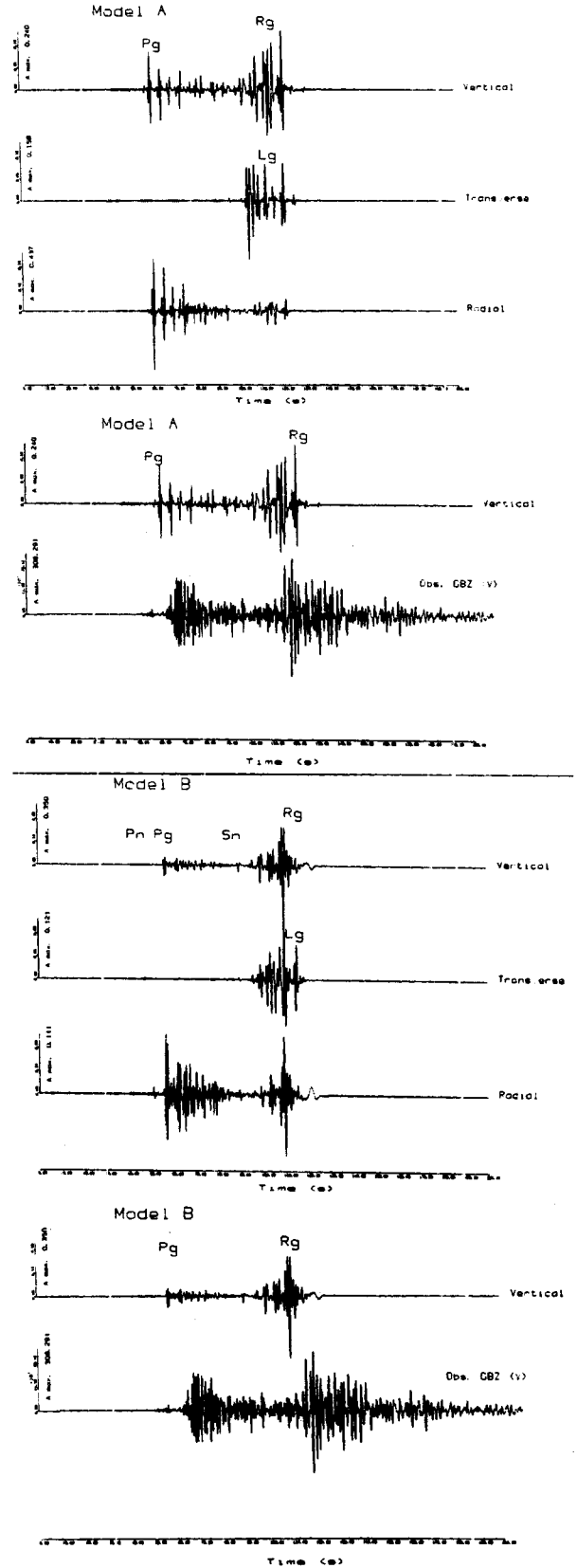
Tablo 1 de yapay sismogram çizimlerinde kullanılan kabuk modelleri verilmektedir. Tablo 1 den de görüldüğü gibi, önce 7.99 km/s lik hıza sahip olan, homojen bir yarı uzayın üstünde bulunan, 34 km kalınlıkta ve 6.2 km/s lik hıza sahip, homojen bir kabuk modeli kullanılmıştır. İkinci model olarak (b), toplam 31 km kalınlıkta ve hızları 6.0 -6.7 km/s arasında değişen 3 tabaklı bir kabuk modeli kullanılmıştır. Tabakalı kabuk modelin altındaki ortamın hızı ise 7.8 km/s olarak alınmıştır. Üçüncü model (c) ise 31 km kalınlıkta olup, 4 tabakadan meydana gelmektedir. Bu modelde 3 km kalınlıkta ve 5.41 km/s lik hıza sahip ince bir düşük hız tabakası bulunmaktadır. Düşük hız tabakasının yüzeyden olan derinliği 14 km dir. Tabakalı kabuğun altındaki ortamın hızı 7.85 km/s dir.

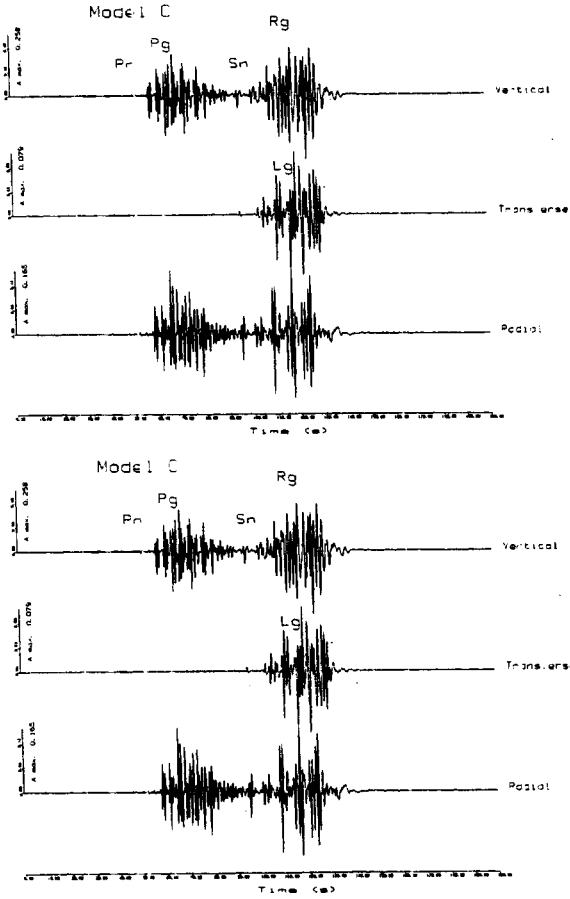
Tabaka Kalınlığı (km)	P-Dalgası Hızı (km/s)	S-Dalgası Hızı (km/s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Qp	Qs
(a) Homojen Kabuk					
34	6.20	3.58	2.6	300	150
	7.99	4.60	3.2	1000	500
(b) Tabakalı Kabuk					
05	6.00	3.40	2.50	140	100
10	6.30	3.60	2.68	250	150
16	6.70	3.87	2.80	350	175
	7.80	4.50	3.10	1000	500
(c) Tabakalı Kabuk					
02	4.50	2.55	2.45	140	100
12	5.80	3.30	2.80	300	150
03	5.41	3.05	2.75	300	150
14	6.57	3.66	2.90	350	175
	7.85	4.32	3.25	1000	500

Tablo 1: Sentetik sismogram hesaplamasında kullanılan kabuk modelleri.

Table 1: Crustal models used for the calculation of synthetic seismogram.

Bu modellerden elde edilen yapay sismogramlar ile gözlemsel sismogramının karşılaştırması sonucunda, (c) şıkında verilen modele ait sismogramın benzerliği daha iyidir (Şekil 3).





Şekil 3a: 24.2.1989 Denizli depremine ait 3 değişik modelin 3 bileşende sismogramları.

Şekil 3b: 3 değişik model için düşey bileşen gözlemsel ve sentetik sismogramlarının karşılaştırılması.

Figure 3a: Seismograms in the three components for three different models for Feb. 24, 1989 Denizli earthquake.

Figure 4b: Comparison of vertical components of synthetic and observed seismograms for three different model.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Ege Bölgesi'nde meydana gelen 24.2.1989 Denizli depreminin yapay sismogramları hesaplanıp, gözlemselleri ile karşılaştırılarak ortamın modellenmesine çalışılmıştır. Elde edilen yapay sismogramlar ile gözlemsel sismogramların dalga biçimleri ve seyahat zamanlarının karşılaştırılması sonucunda benzerliğin en fazla görüldüğü sismogram o bölge için doğru kabuk yapısını vermektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre : Batı Anadolu için toplam kabuk kalınlığı yaklaşık 31 km dir. Yüzeyden 10-15 km derinlikte bir düşük hız tabakasının varlığı kabul edilmektedir. Tabakalı kabuğun altında, üst mantodaki hız değeri ise yaklaşık 7.85 km/s olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen hız değerleri, Ege Denizi ve çevresi için Kuleli ve Canitez (1992) nin yapmış olduğu tomografi uygulaması sonuçları ile karşılaştırıldığında, iki çalışmanın sonuçlarının uyum

içinde olduğu görülmektedir. Ege Bölgesi'ndeki kabuk kalınlıkları ve yüzeyden 10-15 km derinlikte bulunan bir düşük hız tabakasının varlığı, bu bölge ve çevresinde yapılan Jeofizik ve Sismolojik çalışmaların sonuçlarıyla da uyum içinde gözükmetedir (Makris 1978, Ezen 1991).Gözlemsel sismogramlar ile yapay sismogramların karşılaştırılmasıyla, ortama ait yapısal özellikler belirlenebiliyorsa da, bölgesel olarak daha ayrıntılı bir şekilde bir sismik kırılma çalışmasının yapılmasıyla, bulunan bu parametrelerin desteklenmesi yararlı olabilir. Ayrıca ortamın soğurucu özelliği ile ilgili Q nitelik faktörünün belirlenmesinin de yararlı olacağı kanısındayız.

KAYNAKLAR

- Bouchon, M., Aki, K., 1977, Discrete wave number representation of seismic source wave fields, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 67, pp.259-277.
- Bouchon, M., 1979, Discrete wave number representation of elastic wave fields in three space dimensions, *J.Geophys. Res.*, Vol.84, pp.3609-3614.
- Bouchon, M., 1981, A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.71, pp.959-971.
- Canitez, N., 1962, Gravite anomalileri ve sismolojiye göre Kuzey Anadolu'da arz kabuğunun yapısı, *Doktora Tezi, İTÜMF.*
- Canitez, N., 1969, Türkiye civarında depremlere ait fundamental moddan yüzey dalgaları üzerine incelemeler, *TUBİTAK Proj.no.-MAG-150.*
- Canitez, N., and TOKSÖZ, M. N., 1980, Crustal structure beneath Turkey, *EOS Trans. Agu.*, 61,290.
- Chen, C. Y., Chen, W. P., Molnar, P., 1980, The uppermost Mantle P wave velocities beneath Turkey and Iran, *Geophys. Res. Lett.* 7,1, pp 77-80.
- Dunkin, J.W.,1965, Computation of modal solutions in layered elastic media at high frequencies, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 55, pp.335-358.
- Ezen, Ü., 1991, Surface wave dispersion and upper crustal structure along N-S direction in Western Turkey from Burdur earthquake of 12 May 1971. *Bulletin of IİSEE*, vol.25, pp.39-59.
- Gürbüz, C., Üçer, S.B., Özdemir, H., 1980, Adapazarı yöresinde yapılan yapay patlatma ile ilgili ön değerlendirme sonuçları, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, No 31, Ekim.
- Gürbüz, C., Üçer, B.,1985, Anadolu Kavağı'nda yapılan taş ocağı patlatmalarından elde edilen sismik kayıtların değerlendirilmesi, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 39, s.39-49.
- Gürbüz, C., Püskülcü, S., Üçer, S. B., 1992, A study of crustal structure in the Marmara region using earthquake data, *Multidisciplinary Research on fault activity in the western part of the North Anatolian fault zone (4)*, Boğaziçi University Publication, January.
- Kalafat, D., 1988, Güney Batı Anadolu ve yakın çevresinin depremselliği, aktif tektoniği, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 63, s.5-67.
- Kalafat, D., Gürbüz, C., ve Üçer, S.B.,1985, Batı Türkiye'de kabuk ve üst manio yapısının araştırılması, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 59, s.43-64.
- Kenar, Ö.,1977, Sismik P dalgalarının genlik spektrumlarından yararlanarak İstanbul ve civarında yerkabugu yapısı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fak. Doktora tezi.*
- Kuleli, H.S., ve Canitez, N., 1992, Sismik tomografi, Jeofizikte modelleme (düz ve ters problem çözümleri) kollokyumu ders notları., 15, pp 215-223.
- Makris, J. A., 1978, The crust and upper mantle of the Aegean Region from deep seismic soundings. *Tectonophysacs.*, 46, pp.269-284.