JEOFİZİK 3, 3-15, 1989

# SPEKTRAL TRANSFER FONKSİYONLARINDAN YARARLANILARAK SİSMİK P DALGALARI İLE ÜRETİLEN YAPAY YANSIMA SİSMOGRAMLARI

## Synthetic Reflection Seismograms Produced With Seismic P Waves Using the Spectral Transfer Functions

A. Güngör TAKTAK* ve Aybige AYDOĞAN*

### ÖZET

Gözlemsel verilerin değerlendirilmesinde kolaylık sağlamak amacı ile yapay yansıma sismogramları üretilmektedir. Ayrıca yansıma sismogramlarındaki sinyalin şekil ve genlik değişimlerinin daha iyi yorumlanabilmesi model çalışmalarla daha da kolay olmaktadır.

Bu çalışmada, önce P dalgalarının frekans ortamında analizi yapılarak, verilen matris yöntemi ile çeşitli kuramsal tabaka modellerinin transfer fonksiyonları hesaplanmıştır. Üretilen sismogramlarda özellikle dalga boyu-tabaka kalınlığı ilişkisi göz önüne alınmıştır. Yöntemin esası yarı-sonsuz bir ortamın üzerinde uzanan yatay tabakalardan oluşan bir ortamda elastik dalga denkleminin sınır koşulları altında çözümüne dayanmaktadır. Çözüm (2x2)'lik tabaka matrisi olarak verilmektedir. Bu matrisin elemanları tabaka kalınlığı, P dalga hızları, yoğunluk ve frekansın fonksiyonudur. Tabakalı bir ortamda ilerleyen elastik dalgalar için denklemin matris yöntemi ile çözümü, tabakalı ortamın transfer fonksiyonunun çabuk ve duyarlı olarak hesaplanmasını sağlamaktadır.

### ABSTRACT

Synthetic seismograms are computed for a precise interpretation of observed data. Also, it is easier to interpret the variations of shapes and amplitudes of signal on the reflection seismograms with the model studies.

Here, the transfer functions of various theoretical models were initially calculated with a given matrix method after the analysis of P waves in the frequency domain. Relationship between wavelength and layer thickness was especially considered on the synthetic seismograms. The basis of the method is to find solutions to the elastic waves under boundary conditions for the medium consisting of horizontal layers over a semi-infinite space. Solution was given as a (2x2) layer matrix. The elements of this matrix are functions of layer thickness, P wave velocity, density and frequency.

## GİRİŞ

Sismik verilerin değerlendirilmesi amacı ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan sorunlardan birisi de dalga boyunun tabaka kalınlığından büyük olduğu durumlarda oluşan girişim olayı nedeniyle tabaka ayırımlılığının gözlenememesidir. Bilindiği gibi sismik ayırımlılık birbirine yakın zamanda gelen yansıma sinyallerinin ayırt edilmesidir. İki sismik yansımanın katmanların arayüzeylerinden geldiğini gösterebilecek enküçük gidiş-geliş zamanının da farklı olduğu bilinmektedir. Öte yandan sismik ayırımlılık, tabaka kalınlıkları, hızları ve kaynak dalgacığının dalga boyuna bağlıdır. Yalın olarak yapay yansıma sismogramı, kaynak dalgacığı ile yansıma katsayılarının evrişimi sonucunda elde edilir.

Bu çalışmada tek boyutlu dalga denkleminin bazı sınır koşulları altında (tabaka sınırlarında gerilme ve yerdeğiştirmeler süreklidir, serbest yüzeyde gerilmeler sıfırdır) çözümü yapılmıştır. Düzlem dalganın düşey yöndeki gidişi için önce Fourier dönüşümü kullanılarak transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan modeller özellikle tabaka kalınlığı dalga boyu ilişkisini

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Bornova-İZMİR

içermekte ve bu ilişkinin transfer fonksiyonu üzerindeki etkisi incelenmektedir.

Bundan önce yapılan çalışmalarda, Robinson and-Treitel (1977) Yatay n tabakalı bir ortamda z-dönüşümü kullanarak ortamın spektral fonksiyonunun nasıl hesaplanacağını göstermiştir.

Fuchs (1966), yarı sonsuz bir ortamın üzerinde uzanan tabakalı bir yerkabuğu içindeki bir nokta kaynaktan yayılan P dalgaları için transfer fonksiyonunu hesaplamıştır.

Gerçekte bu çalışmada kullanılan yöntem Thomson-Haskel matris yöntemi olarak adlandırılmakta ise de, çözüm Thomson-Haskel matrisinde olduğu gibi (4x4) iki matris olarak verilmemekte, S dalga hızları ve ışının geliş açısı matris elemanları olarak hesaplanmamaktadır. Bu çalışmada çözüm (2x2)'lik tabaka matrisi olarak verilmektedir. Matrisin elemanları tabaka kalınlığı ($d_i$), P dalga hızları ($\alpha_i$), yoğunluk ($\rho_i$) ve frekansın fonksiyonudur. Işının geliş açısı da 90° olacak şekilde incelenmiştir.

## TABAKALI BİR ORTAMDA ELASTİK DALGA DENKLEMİ

Daha önce de değinildiği gibi, modelin aşağıda verilen sınır koşulları ile birlikte yatay n tabakalı ideal, elastik ve homojen yarı-sonsuz bir ortamdan oluştuğu varsayılmaktadır. Problemin çözümü hesaplarda kolaylık olması bakımından iki boyutlu olarak (x, z) düşey düzlem içinde yapılacaktır. x ekseni tabaka sınırlarına paralel, z ekseni aşağıya doğru pozitif olarak seçilmektedir. Elastik dalga denkleminin dilatasyon (P) dalgaları için genel ifadesi:

$$\nabla^2 U = \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \qquad (1)$$

olarak verilir. Burada U, P dalga hızları için yerdeğiştirme potansiyeli; t, zaman; $\alpha$ dalga hızı; $\nabla^2$, Laplasiyen operatörüdür:

$$\nabla^2 U = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \qquad (2)$$

(1) Denkleminin genel çözümü;

$$U(z, t) = F\left(t - \frac{z}{\alpha}\right) + G\left(t + \frac{z}{\alpha}\right) \qquad (3)$$

F ve G fonksiyonları başlangıç ve sınır koşulları ile belirlenir. F (t − z/$\alpha$) pozitif yönde ilerleyen düzlem dalgaları göstermektedir. G (t + z/$\alpha$) ise negatif yönde ilerleyen düzlem dalgalardır. İşlemlerde yalnızca pozitif yönde ilerleyen dalgalar dikkate alınacaktır. Buna göre birinci tabaka içerisinde aşağı doğru ilerleyen bir P dalgasının z yöndeki yerdeğiştirme bileşeni için,

$$U_g(z, t) = F\left(t - \frac{z}{\alpha_1}\right) \qquad (4)$$

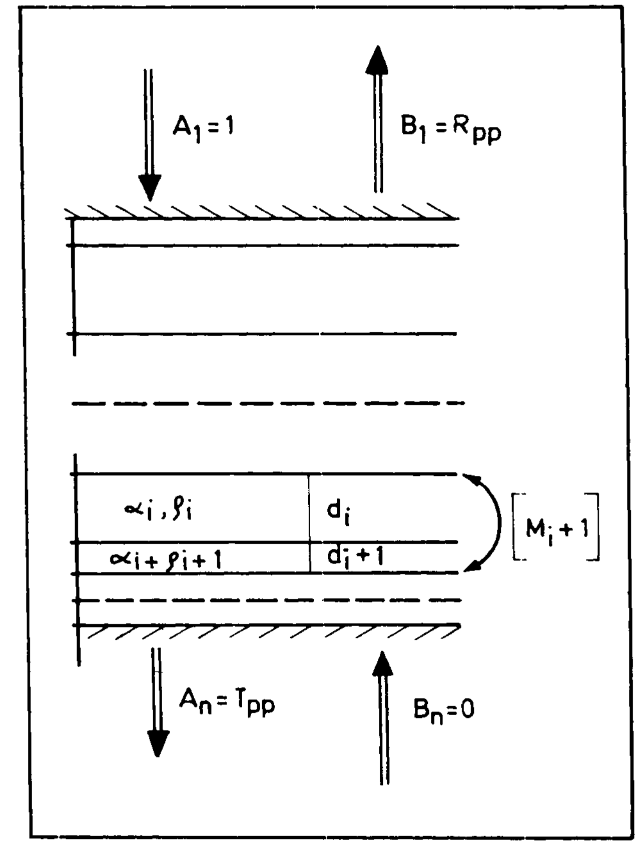
ve (3) nolu denklemdeki F (t) fonksiyonu için,

$$U_g(z, t) = Ce^{jw(t - z/\alpha_1)} \qquad (5)$$

şeklinde w açısal frekanslı harmonik bir fonksiyon kullanır. Böylece i inci tabaka içindeki yerdeğiştirme miktarı özel bir çözüm ile,

$$U_i(z, t) = A_i \exp\left(\left(t - \frac{z - z_{i-1}}{\alpha_i}\right)\right) + B_i \exp\left(jw\left(t + \frac{z - z_{i-1}}{\alpha_i}\right)\right) \qquad (6)$$

şeklinde verilir (Şekil 1).




Şekil 1. Birbirine paralel tabakalı bir ortamın arayüzeylerinden yansıyan ve yayınan dalgalar.
Fig. 1. System of layered media showing ray path normal to the parallel interfaces between layers.

i = 1 için (6) denklemindeki birinci terim aşağıya doğru ilerleyen dalgayı, ($A_i$ = 1 burada genlik birim olarak alınmıştır), ikinci terim ise aranan yansımış dalgayı ($B_i$ = R) tanımlamaktadır.

i = n için (6) denklemindeki birinci terim yayınan dalgadır ($A_n$ = T), ikinci terim ise sıfır olmaktadır ($B_n$ = o). Görüldüğü gibi $A_i$ ve $B_i$ katsayıları zamana bağlı değildir. (6) denklemini aşağıdaki sınır şartları ile düzenleyecek olursak;

I. Ortamda geçerlilik; $U(z, t) = 1.F(t-z/\alpha_1) + RF(t+z/\alpha_2)$

2. Ortamda geçerlilik; $U(z, t) = T.F(t - z/\alpha_1)$ (7)

R = yansıma katsayısı T = yayınım katsayısı

Sınır şartları,

| **Fiziksel Olarak** | **Matematiksel Olarak** | |
|---|---|---|
| 1. Tabaka sınırlarında gerilme ve yerdeğiştirmeler süreklidir. | $U_i(z, t) = U_{i+1}(z, t)$ | (8) |
| 2. Serbest yüzeydeki gerilmeleri sıfırdır, yani sınır herhangi bir sismik enerji taşımıyor. | $\delta_{zi} = \delta_{zi+1}$<br>$\rho_i\alpha_i^2 \dfrac{\partial U_i}{\partial z}(z, t) = \rho_{i+1}\alpha_{i+1}^2 \dfrac{\partial U_{i+1}}{\partial z}(z, t)$<br>$\rho_i\alpha_i^2$ = elastik katsayı | |
| $1+R = T$ | $\alpha$ = P dalga hızı | (9) |
| $-1+R = -\dfrac{\rho_2\alpha_2}{\rho_1\alpha_2}$ | $\rho$ = Ortamın yoğunluğu | |

olduğundan,

$$T = \frac{2\rho_1\alpha_1}{\rho_1\alpha_1 + \rho_2\alpha_2} \qquad R = \frac{\rho_1\alpha_1 - \rho_2\alpha_2}{\rho_1\alpha_1 + \rho_2\alpha_2} \tag{10}$$

$I_i = \rho_i\,\alpha_i$ akustik empedans.

$$T = \frac{2I_1}{I_1 + I_2} \qquad R = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \tag{11}$$

z = 0'da bir sınır yüzeyi yoktur, yani bu yüzeyde yansıyıp geri dönen dalga, reverberasyon olayı gözlenmemektedir. (6) numaralı denklemi düzenlemeden önce aşağıdaki olayların bilinmesinde yarar vardır.

a) Kaynak ile alıcı aynı yüzeydedir (kaynak tabaka içinde değildir), b) S dalgaları incelenmemektedir ($\mu = o$), c) P dalgaları yalnızca düşey (z) yönünde ilerliyor, yani tek boyutlu dalga denklemi kullanılıyor.

Böylece yukarıdaki varsayımlar ve sınır koşulları kullanılarak (6) denklemi düzenlenirse,

$$A_i e^{-j\omega\left(t-\frac{z-z_{i-1}}{\alpha_i}\right)} + B_i e^{j\omega\left(t+\frac{z-z_{i-1}}{\alpha_i}\right)} = A_{i+1} + B_{i+1} \tag{12}$$

$$\rho_i\alpha_i\left[-A_i e^{-j\omega\left(t-\frac{z-z_{i-1}}{\alpha_i}\right)} + B_i e^{j\omega\left(t+\frac{z-z_{i-1}}{\alpha_i}\right)}\right]$$

$$= \rho_{i+1}\alpha_{i+1}\left[-A_{i+1} + B_{i+1}\right] \tag{13}$$

eşitlikleri elde edilir.

$\left(\dfrac{\partial U_i}{\partial z}\right.(z, t)$ ve aynı işlem $\dfrac{\partial U_{i+1}}{\partial z}(z, t)$ için de yapılıp birinci sınır koşul denklemi,

$$A_{i+1} = A_i e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} + B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} - B_{i+1} \tag{14}$$

İkinci sınır koşulu denkleminde yerine koyulup çözülürse;

$$-I_i A_i e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} + I_i B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}$$

$$= -I_{i+1}\left[A_i e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} + B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}\right] + I_{i+1}B_{i+1} \tag{15}$$

$$A_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}\left[-I_i + I_{i+1}\right] + B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}\left[I_i + I_{i+1}\right] = 2B_{i+1}\, I_{i+1} \tag{16}$$

ve böylece $A_{i+1}$ ve $B_{i+1}$ eşitlikleri;

$$1/2\left[A_i e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}(1 - \frac{I_i}{I_{i+1}}) + B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}(1 + \frac{I_i}{I_{i+1}})\right] = B_{i+1} \tag{17}$$

$$1/2\left[A_i e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}(1 + \frac{I_i}{I_{i+1}}) + B_i e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}}(1 - \frac{I_i}{I_{i+1}})\right] = A_{i+1} \tag{18}$$

elde edilir.

Bu denklem sistemi matris şeklinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} A_{i+1} \\ \\ B_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(1 + \frac{I_i}{I_{i+1}})e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} & \frac{1}{2}(1 - \frac{I_i}{I_{i+1}})e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} \\ \frac{1}{2}(1 - \frac{I_i}{I_{i+1}})e^{j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} & \frac{1}{2}(1 - \frac{I_i}{I_{i+1}})e^{-j\omega\frac{d_i}{\alpha_i}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{i+1} \\ \\ A_{i+1} \end{bmatrix} \tag{19}$$

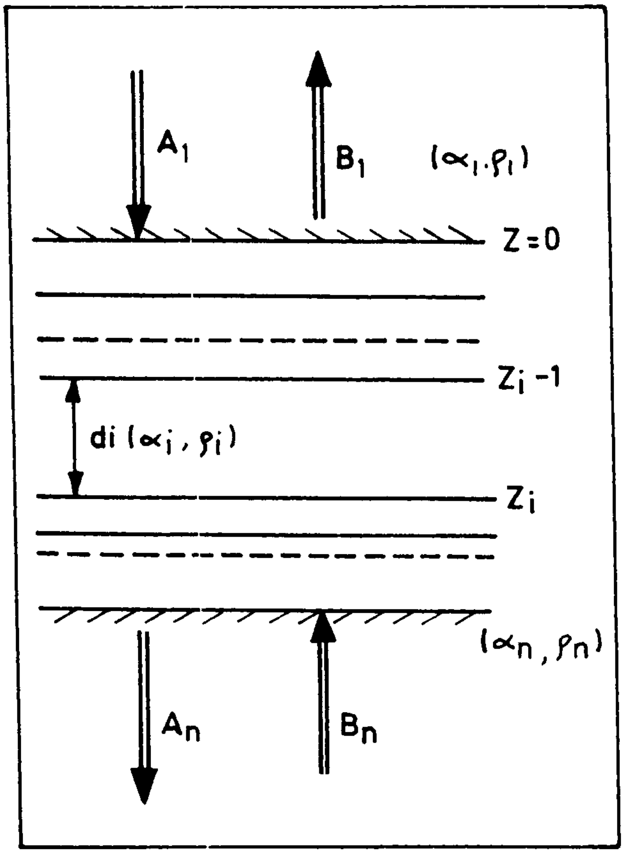
Denklemin tekrarlanmış şekli ile tabaka matrisinin çarpımı M olarak gösterilir.

$$\begin{bmatrix} A_n \\ \\ B_n \end{bmatrix} = m_n \cdot m_{n-1} \ldots\ldots m_{n-2} \begin{bmatrix} A_i \\ \\ B_i \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} A_i \\ \\ B_i \end{bmatrix} \tag{20}$$

$$\begin{bmatrix} A_n \\ \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n \\ \\ B_n \end{bmatrix} \tag{21}$$

Tabakalı bir ortam üzerine genliği $A_i$ = 1 olan bir düzlem dalga gönderelim. Yansıyan dalga genliği ise Bi =

R olsun. Bu durumda ortam tam olarak, yani n inci tabaka bir yarı ortam şeklinde tanımlanmış ise dalga yayınım kurallarına göre Bn = 0 dır, sınır yüzeyinden yayınarak geçen dalga genliği ise Bn = T olur (Şekil 2).




Şekil 2. n tabakalı yerkabuğu modelinde yansıyan ve yayınan dalga genlikleri.

Fig. 2. Amplitude of reflected and refracted waves in n-layered media.

Buna göre oluşturulacak matris;

$$\begin{bmatrix} T_{pp} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ R_{pp} \end{bmatrix} \tag{22}$$

şekline dönüşür veya açılmış şekli ile,

$$\begin{bmatrix} T_{pp} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} - M_{12} R_{pp} \\ M_{12} - M_{22} R_{pp} \end{bmatrix} \tag{23}$$

Bu matrisin çözümü ile $R_{pp}$ ve $T_{pp}$ katsayıları

$$R_{pp} = - \frac{M_{21}}{M_{22}}$$

$$T_{pp} = M_{11} - M_{21} \cdot \frac{M_{21}}{M_{22}} = \det\ [M] \frac{1}{M_{22}} \tag{24}$$

$$\det (M) = \frac{I_{n-1}}{I_n} \cdot \frac{I_{n-2}}{I_{n-1}} \cdots \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{I_1}{I_n} = \frac{I_1}{I_n} \tag{25}$$

sonucu olarak,

$$R_{pp} = - \frac{M_{21}}{M_{22}}$$

$$T_{pp} = \frac{I_1}{I_n} \cdot \frac{1}{M_{22}} = \frac{\rho_1 \alpha_1}{\rho_n \alpha_n} \cdot \frac{1}{M_{22}} \tag{26}$$

elde edilir. (24) denkleminde görüldüğü gibi yansıma ve yayınım katsayıları tabaka parametrelerinin dışında ayrıca açısal frekans w'ya da bağlıdır. Buna göre denklem (26) ile yansıyan dalga,

$$U_y(z, t) = R_{pp}(w)\, e^{jw(t - \frac{z}{\alpha_i})} \tag{27}$$

ve yayınan dalga,

$$U_x(z, t) = T_{pp}(w)\, e^{jw(t - \frac{z - z_{n-1}}{\alpha_n})} \tag{28}$$

olarak verilir. Yukarıdaki $R_{pp}$ ve $T_{pp}$ katsayıları tüm tabakalar için istenilen frekanslarda hesaplanabilir. Böylece istenen tüm tabaka modelleri için yapay yansıma sismogramları üretilir.

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot e^{jwt} dw$$

Bir kaynak dalgacığı yardımı ile yapay sismogram üretiminde düzlem dalga F(t), F(w) şeklinde bir spektruma sahiptir. Yansıyan dalgalar için G (t + z/α) eşitliği aşağıdaki şekilde verilir:

$$G(t + z / \alpha_1) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{pp}(w) \cdot F(w) \cdot e^{jw(t + z/\alpha_1)} dw$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} G(w) \cdot e^{jw(t + z/\alpha_1)} dw \tag{29}$$

Yansıyan dalganın Fourier dönüşümü,

$$G(w) = R_{pp} \cdot F(w) \cdot e^{jwz/\alpha_1} \tag{30}$$

z = 0 için yapay sismogram ise;

$$G(0, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w) \cdot R_{pp}(w) \cdot e^{jwt} dw \tag{31}$$

şeklinde üretilir.

## YANSIMA, YAYINIM İLİŞKİLERİ VE GİRİŞİM OLAYI

Bilindiği gibi empedans faktörü,

$$K_i = \frac{\rho_{i+1}\alpha_{i+1}}{\rho_i \alpha_i} \qquad (32)$$

ve yansıma katsayısı,

$$r_i = \frac{1-k_i}{1+k_i} \quad \frac{\rho_i \alpha_i - \rho_{i+1}\alpha_{i+1}}{\rho_i \alpha_i + \rho_{i+1}\alpha_{i+1}} \qquad (33)$$

şeklinde verilir. Daha sonra yineleme bağıntısından R (w) girişim olaylarını inceleyebilmek için aşağıdaki işlemler yapılır;

$q_i = \exp(-jwd_i/\alpha_i)$ harmonik fonksiyonu, $w = 2\pi f$ açısal frekans ve $\lambda = \alpha \cdot T$ dalga boyu bağıntıları yardımı ile,

$$q_i = \exp(-j2\pi d_i/\lambda_i) \qquad (34)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$$\Im[\exp(-jwd_i/\alpha_i)] \Rightarrow \delta(t - d_i/\alpha_i) \qquad (35)$$

12 ve 13 bağıntılarına benzer biçimde ve sınır koşulları uygulanarak aşağıdaki eşitlikler yazılır:

$$A_i q_i + B_i q_i^{-1} = A_{i+1} + B_{i+1} \qquad (36)$$

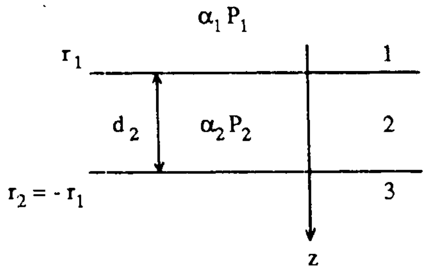
$$-A_i q_i + B_i q_i^{-1} = K_i (A_{i+1} + B_{i+1})$$

$$\frac{A_i}{B_i} = R_i = q_i^2 \frac{\dfrac{A_{i+1}}{B_{i+1}} + \dfrac{1-k_i}{1+k_i}}{1 + \dfrac{A_{i+1}}{B_{i+1}} - \dfrac{1-k_i}{1+k_i}} \qquad (37)$$

İşlemi ile yansıma katsayılarının yineleme bağıntısı elde edilir:

$$R_i = \frac{R_{i+1} + r_i}{1 + R_{i+1} r_i} \cdot q_i^2 \qquad (38)$$

Aşağıdaki model iki yarı sonsuz ortam arasında bulunan ince bir tabakadan oluşmaktadır, tabaka parametreleri ise,




şeklindeki gibidir.

Bu model üzerinde yineleme bağıntısını kullanacak olursak şunlar geçerlilik kazanır;

$$R_3 = \frac{B_3}{A_3} = 0$$

$$R_2 = r_2 q_2^2$$

$$R_1 = \frac{R_2 + r_1}{1 + R_2 r_1} = \frac{r_2 q_2^2 + r_1}{1 + r_2 q_2^2 r_1} \qquad (39)$$

$r_2 = -r_1$ eşitliğinden,

$$R_1 = \frac{r_1 - r_1 e^{-jw2d_2/\alpha_2}}{1 - r_1^2 e^{-jwd_2/\alpha_2}} = r_1 \frac{1 - e^{-jw2d_2/\alpha_2}}{1 - r_1^2 e^{-jw2d_2/\alpha_2}} \qquad (40)$$

Burada $R_1$, açısal frekansın (w) bir fonksiyonudur. $R_1$ (w)'nin davranışı bizi girişim olayına götürür. Bu girişim olayını yapıcı ve yok edici girişim olayları olarak iki şekilde görebiliriz.

Yok edici girişim olayında,

$$\exp(jw2d_2/\alpha_2) = 0$$

veya açık olarak,

$$1-\exp(jw_2 d_2/\alpha_2) = 1 - \cos(2wd_2/\alpha_2) - j\sin(2wd_2/\alpha_2) = 0 \qquad (41)$$

$\cos(2wd_2/\alpha_2) = 1$ olduğundan,

$$2wd_2/\alpha_2 = 2n\pi \qquad n = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots \qquad (42)$$

$$f_n = \frac{w_n}{2\pi} = \frac{n\alpha_2}{2d_2} \qquad n = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots$$

noktalarında $R_1$ (w) sıfır değerini alır.

Boyutsuz büyüklük d/λ ya göre yok edici girişim oranları

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right) = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2} \text{ dir.} \qquad (43)$$

Yapıcı girişim olayında ise,

$$w_n wd_2/\alpha_2 = (2n+1)\pi \qquad n = 0, 1, 2, \ldots\ldots\ldots \qquad (44)$$

$$f_n = \frac{(2n+1)\,\alpha_2}{4d_2} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots\ldots\ldots\ldots$$

noktalarında R1(w) sıfır değerini alacaktır.

Yapıcı girişim olayında ise boyutsuz büyüklük (d/λ) oranları

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right) = \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}$$

şeklinde olmaktadır.

## UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

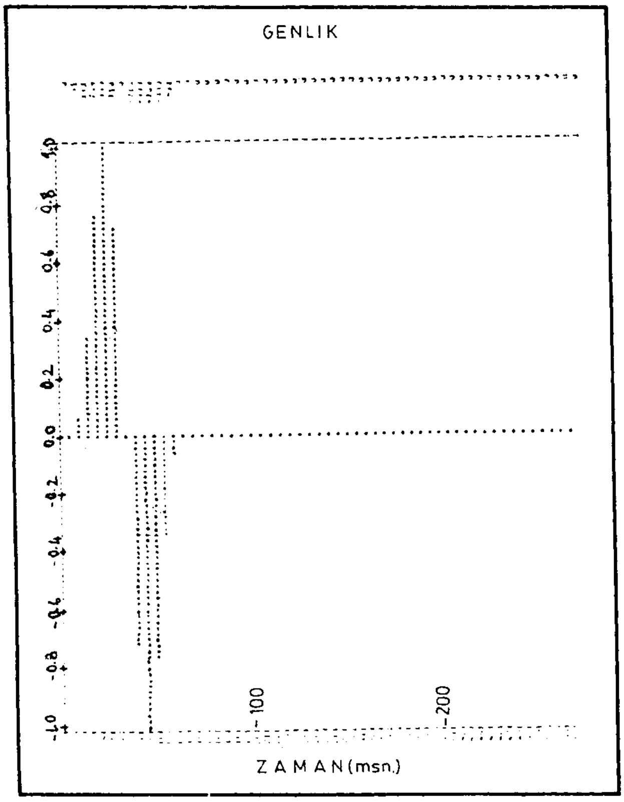
Bu bölümde kuramsal tabaka modellerinden değişik hız ve yoğunluğa bağlı olarak P dalgaları ile üretilen yansımaları içeren yapay yansıma sismogramları incelenmiştir. Tabakalı bir ortamda ilerleyen elastik dalgalar için dalga denklemi verilen matris yöntemi ile çözülmüştür. Bu matris yardımıyla elde edilen sonuçlar diğer yöntemler ile kontrollü yapılabildiğinde duyarlılığı artmaktadır. Ancak tabaka parametrelerinin sismogram ve transfer fonksiyonunu ne şekilde etkilediğini önceden bilmek gerekir. Bu nedenle önceden hazırlanan modellerle parametre değişimlerinin etkisini araştırıp problemi daha basitleştirmek için parametre değerlerinde bazı sınırlamalar yapılmaktadır.

Yerkabuğunda yoğunluk, sismik dalga hızları ile birlikte genel olarak doğrusal arttığından, yoğunluk-hız ilişkisi için;

$$\rho = 1.7 - 0.2\,\alpha \qquad (46)$$

Nafe and Drake (1963) bağıntısı kullanılır.

Şekil 3'de, kaynak dalgacığı analitik olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir (Fertig ve Muller 1978).




Şekil 3. Kaynak dalgacığı.
Fig. 3. Input wavelet.

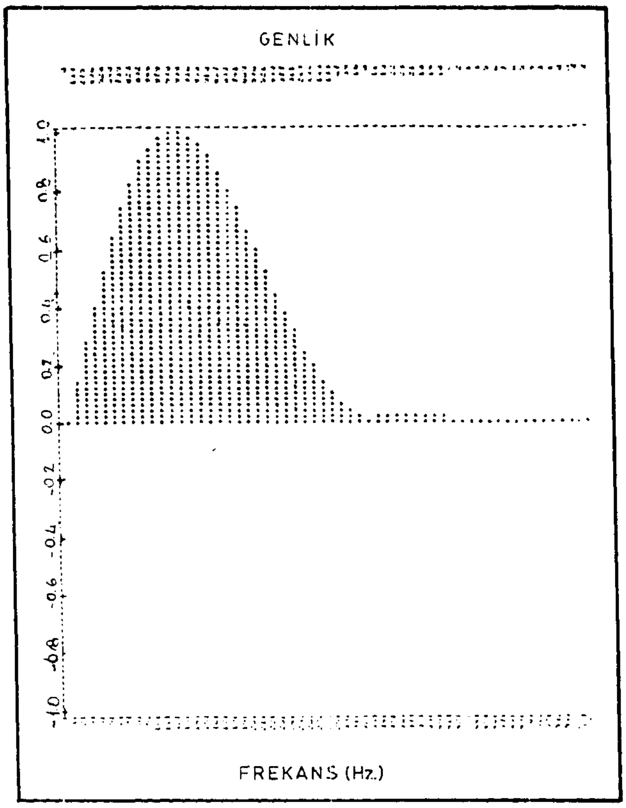
$$f_n(t) = \begin{cases} \sin\delta t - \dfrac{1}{m}\sin m\delta t & 0 \le t \ge T \\ 0 & 0 < t \text{ ve } t > T \end{cases}$$

$$\delta = \frac{N\pi}{T} \qquad m = \frac{n+2}{N} \qquad N = 1, 2, 3, \ldots..$$

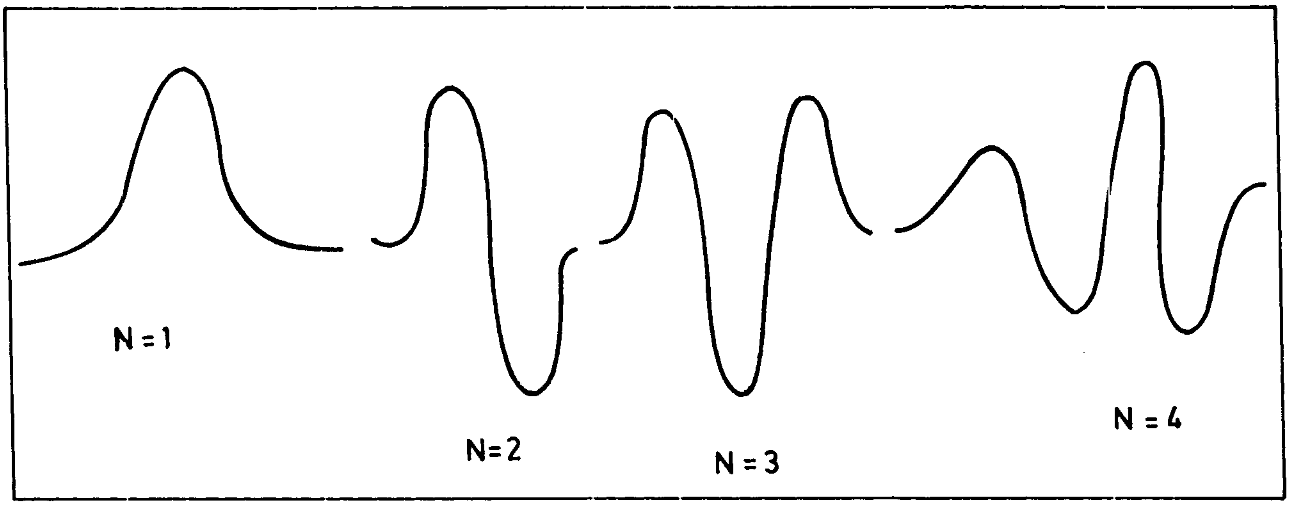
Burada, N extremum noktası, T sinyalin peryodu ve t zaman aralığıdır.

Kaynak dalgacığının spektrumu ise Şekil 4'de görülmektedir. Buradaki kaynak dalgacığı $f_n(t) = d/dt\, f_{n-1}(t)$ şeklindedir ve uygulamalarda N = 2 olarak seçilmiştir (Şekil 5).

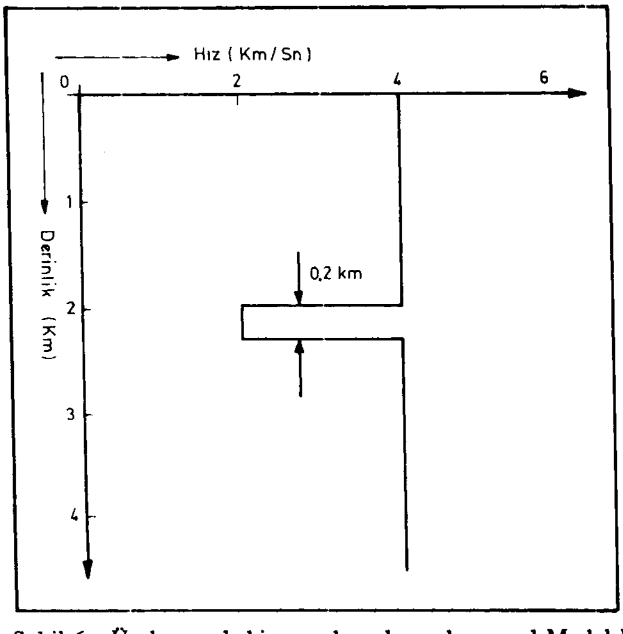
Önce de değinildiği gibi, bu çalışmada amaç tabaka kalınlıklarındaki değişimlerin sismogram ve yerkabuğu transfer fonksiyonu üzerindeki etkisini incelemek ve araştırmaktır. Uygulamalarda örnekleme aralığı $\Delta t$ = 5 msn, kaynak dalgacığı peryodu 12 örneklemeden T = 12x0.005 = 60 msn olarak alınmıştır. Tabaka kalınlıklarının yerkabuğu transfer fonksiyonuna etkisini incelemek için seçilen ilk kuramsal model üç tabakalıdır. Bu ve bundan sonraki sismogramlarda da incelenen olay tabaka kalınlığı-dalga boyu ilişkisine dayanmaktadır. Başka bir deyişle, dalga boyunun tabaka kalınlığından büyük olduğu durumlarda gözlenecek olaylar ve yorumda getirdiği güçlüklerdir. Şekil 6'daki modelde iki yarı sonsuz ortam arasındaki tabaka kalınlığı 200 m ve dalga boyu $\lambda_2 = \alpha_2 \cdot T$ = 2000 m/sn * 0.06 sn = 120 m olarak alınmıştır. Yani $\lambda_i < d_2$ olayı söz konusudur. Böylece kuramsal yer modeline göre oluşturulan sismogramdaki (Şekil 7) kaynak dalgacığı esas şeklini korumuştur. Çalışmada yansıma olayı sadece düşey gidiş-geliş olarak incelendiği için ikinci tabakadan yansıyıp yüzeydeki alıcıya gelen sinyal, sismogramda $T = 2h_2/v_2$ = 200 msn de görülmektir. Böylece




Şekil 4. Kaynak dalgacığının genlik spektrumu.
Fig. 4. Amplitude spectrum of input wavelet.




Şekil 5. N = 1, 2, 3 ve 4 için kullanılan kaynak dalgacığının şekli.
Fig. 5. Shape of input wavelet for N = 1, 1, 3 and 4.




Şekil 6. Üç katmanlı bir yapıdan oluşan kuramsal Model-I.
$V_1 = 4000$ m/sn, $V_2 = 2000$ m/sn,
$d_1 = 2000$ m, $d_2 = 200$ m,
$\rho_1 = 2.5$ gr/cm$^3$, $\rho_2 = 2.1$ gr/cm$^3$
$V_3 = 4000$ m/sn,
$d_3 = 2000$ m,
$\rho_3 = 2.5$ gr/cm$^3$

Fig. 6. Three layered synthetic Model-I.

ikinci tabakadan yansıyıp alıcıya gelen sinyal diğer tabakalardan yansıyan sinyaller ile girişime uğramayacak, tabaka ayırımlılığı da sismogramda görüldüğü gibi net bir şekilde gözlenmiş olacaktır. Çalışmada oluşturulan yapay sismogramlar zaman olarak kaydırıldığından ilk yansıma t = 0'da bulunmaktadır. Aynı model için elde edilen transfer fonksiyonuna bakıldığında örnekleme frekansı $f_o = 1/\Delta t = 2\pi/w_o = 200$ Hz olduğu görülür.

Örnekleme kuramına göre, $f_o < 2f_M$ olduğu sürece görüntü spektrumlar, esas spektrumdan ve birbirlerinden ayrılmış olacaklardır. Bu da örnekleme aralığının 1/2 $f_M$'den daha küçük ($\Delta t < 1/2f_M$) seçilmesi ile olanaklıdır. Örnekleme aralığının $\Delta t = 1/2f_M$ seçilmesi ise limit durumu oluşturmaktadır.

Bu durum ayrık spektrumda görülmektedir (Şekil 8). Şekilden de görüldüğü gibi görüntü spektrumlar birbirini ve esas spektrumu etkilememekle birlikte spektrum $f_N$ (Nyquist frekansı) etrafında katlanmaktadır.

II. Modelde (Şekil 9) iki yarı sonsuz ortam arasındaki tabaka kalınlığı 200 m'den 2 m'ye azaltıldığında $d_2/\lambda_2 \ll 1$ olayı söz konusu olacaktır. Dolayısı ile oluşan sismogramda tabakalardan yansıyan sinyallerin girişimi sonucu tabaka ayırımlılığı gözlenemeyecektir (Şekil 10). Doğal olarak görüntü spektrumlarının esas spektrumdan ve birbirlerinden yeterince ayrılması durumu olmayacak ve girişim olayı nedeni ile farklı bir spektrum elde edilecektir. Tabaka kalınlığı inceldikçe transfer fonksiyonunun genliği yüksek frekanslara doğru kayacak ve böylece girişim olayının varlığı transfer fonksiyonundan gözlenebilecektir (Şekil 11).

Böyle bir ortam için aşağıdaki bağıntı verilmektedir;

$$r_1(1 - e^{-jw2d_2/\alpha_2}) \cong r_1(1 - 1 + jw\,2\,d_2/\alpha_2)$$

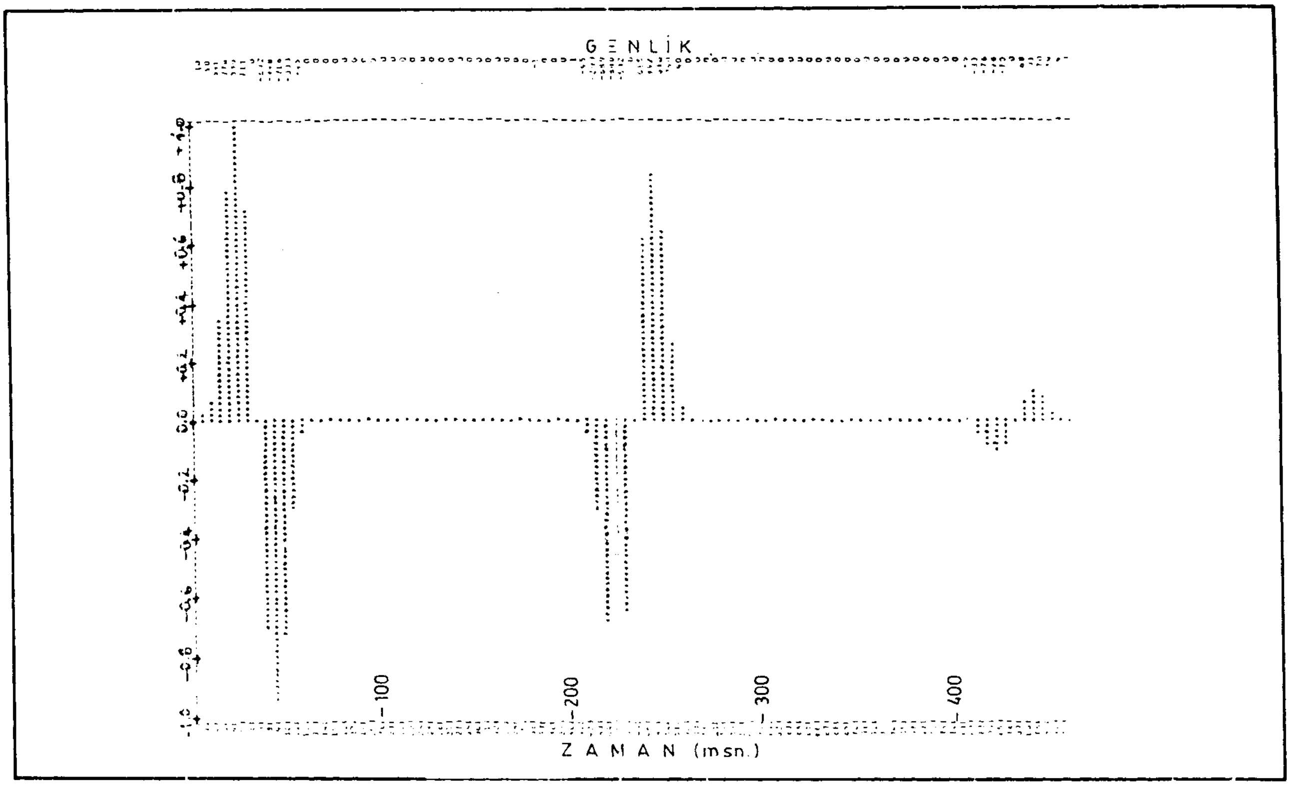
$$\cong jwr_1\,2\,d_2/\alpha_2$$

$r_1$ = katmanın üst yüzeyinden yansıyan dalganın genliğidir. Burada transfer fonksiyonu w ile doğrusal olarak artar, zaman ortamına geri dönüşte ise kaynak dalgacığı,

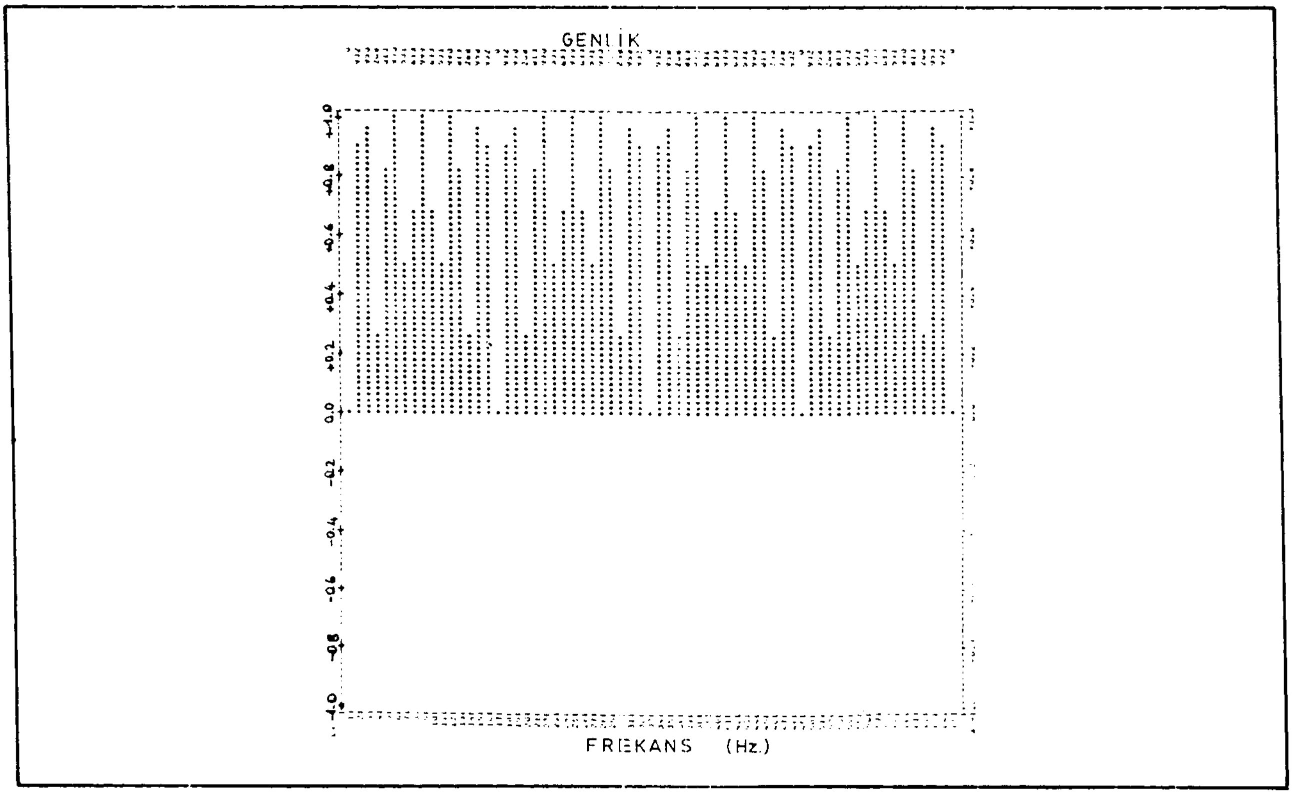
$$G(t + z/\alpha_1) \cong r_1\,2\,d_2/\alpha_2 \cdot F(t + z/\alpha_1)$$

şeklini alır.

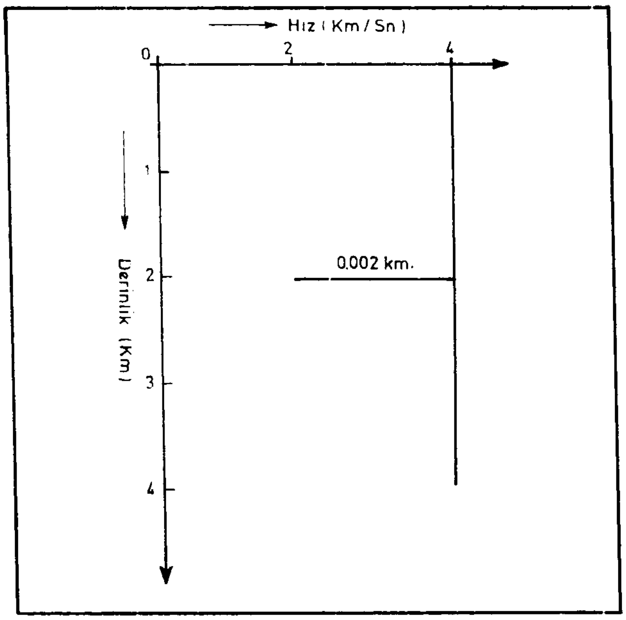
Model-III'deki (Şekil 12) iki yarı sonsuz ortam arasında 200 m kalınlığında bir geçiş zonu, herbiri 10 m kalınlıkta olan 20 katmandan oluşmaktadır. Geçiş zonunda hız sürekli olarak arttığından ($\lambda_G = T \cdot \alpha_G$) dalga boyu




Şekil 7. Model-I'in kullanılması ile oluşturulan yapay yansıma sismogramı. 5 msn aralıklar ile örneklenmiş 128 örnek sayısından oluşmaktadır.
Fig. 7. Synthetic reflection seismogram produced of using the layered Model-I. It consists of 128 samples of 5 msec interval.




Şekil 8. Model-I'in transfer fonksiyonu.
Fig. 8. Transfer function of Model-I.



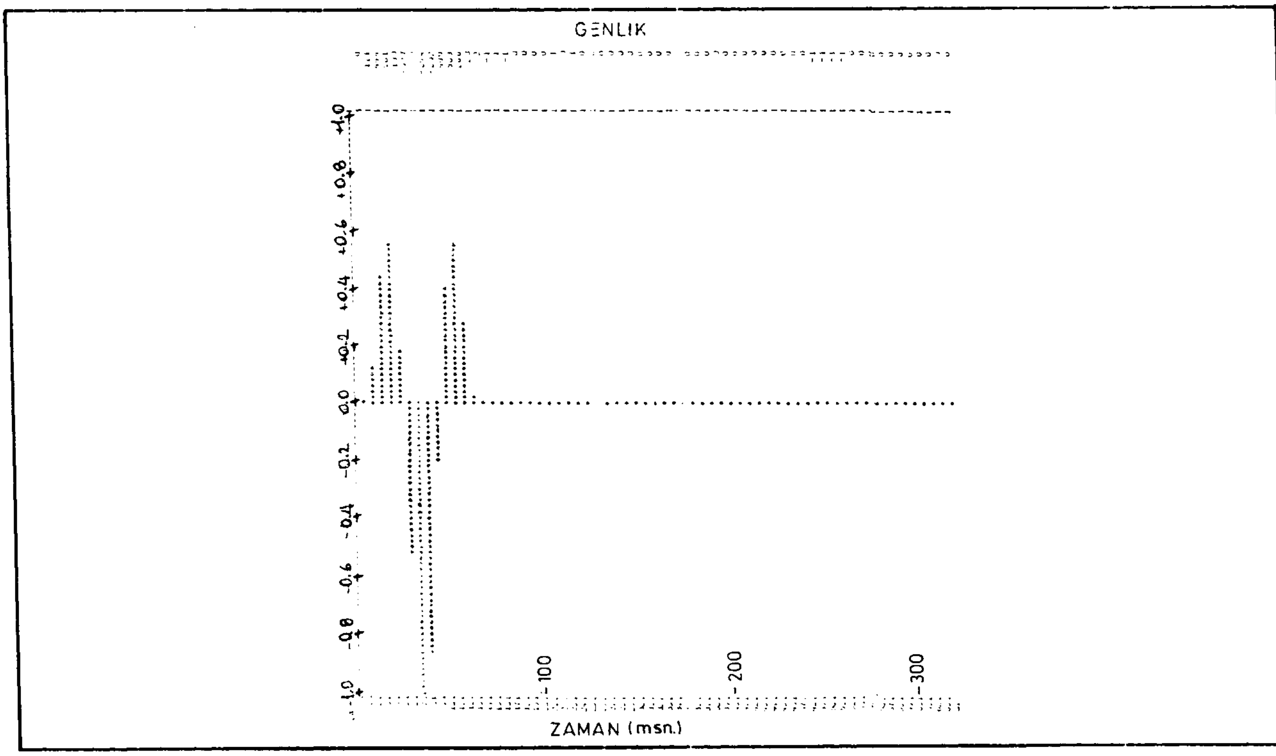

Şekil 9. **Üç tabakadanoluşan kuramsal Model-II.**

$v_1 = 4000$ m/sn, $v_2 = 2000$ m/sn,
$d_1 = 2000$ m, $d_2 = 2$ m,
$\rho_1 = 2.1$ gr/cm$^3$, $\rho_2 = 2.5$ gr/cm$^3$,
$v_3 = 4000$ m/sn,
$d_3 = 2000$ m,
$\rho_3 = 2.1$ gr/cm$^3$.

Fig. 6. Three layered synthetic Model-II.

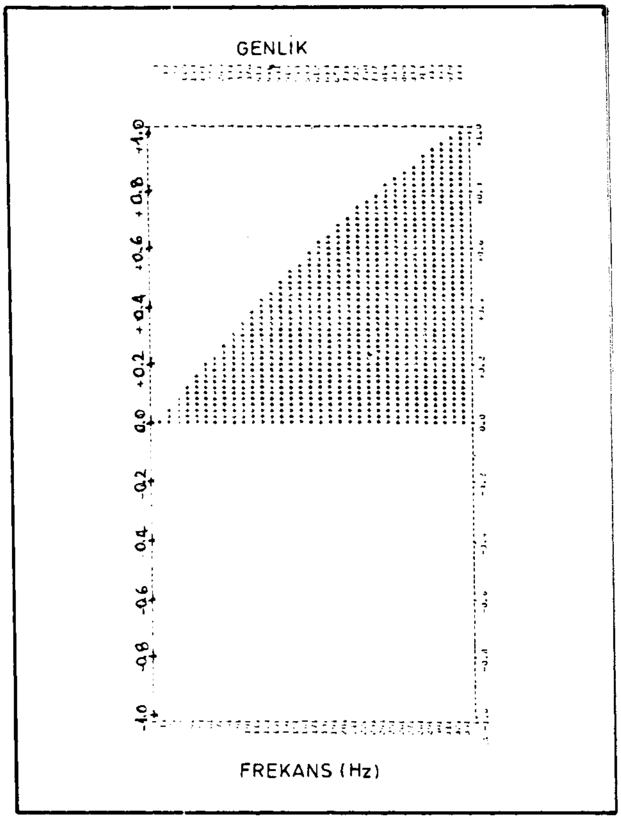
da bu zonda sürekli olarak değişecek ve girişim olayına neden olacaktır. Bu olay sonucunda oluşan sismogramda görüldüğü gibi kaynak dalgacığı şeklini tamamen kaybedecektir. Burada kömür damarlarında karşılaşılan olaylar (güçlü kontrast, ince tabaka) söz konusudur. Böyle ortamlarda sinyaller kısa bir zaman aralığında aşırı yüklenir ve güçlü genlikler oluştururlar (Şekil 13). Model-III'ün transfer fonksiyonu yukarıda belirtilen özelliklerden dolayı, ekstremum noktaları duyarlılık göstermeden düzensiz bir şekilde girişim olayına bağlı olarak oluşan Şekil 14'deki gibi bir spektruma sahip olacaktır. Geçiş zonunda 10 m kalınlıktaki 20 katman arasında hızlar birbirlerine yaklaştıkça piklerin genlikleri azalmaktadır.

Model-IV'de 2 m kalınlığındaki ince tabaka ile 200 m kalınlığındaki geçiş zonu birlikte verilmiştir (Şekil 15). Model-IV deki geçiş zonunda tabakalar arasındaki hız farkı Model-III'e göre ters olarak alındığından yani, alttaki katmanın hızı üstteki katmanın hızından küçük olduğundan ($\alpha_i < \alpha_{i+1}$) geçiş zonundan gelen yansımanın ilk piki sismogramda pozitif bölgede görülmektedir (Şekil 16). Modelin transfer fonksiyonunda görüldüğü gibi 2 m kalınlığındaki ince tabakada $d_2/\lambda_2 \ll 1$ olayı nedeni ile frekans katlanması meydana gelecek yüksek frekanslardaki bilgiler temel frekans aralığı içine sızmış olacak ve böylece transfer fonksiyonu w ile doğrusal olarak artacaktır. Şekil 17'de geçiş zonundaki ince tabakalarda oluşan girişimden dolayı spektrumda oluşan pikler (Şekil 14) 2 m kalınlığındaki yerkabuğu modelinin transfer fonksiyonu üzerinde yer almakta ve böylece her iki olayda transfer fonksiyonunda gözlenmektedir.

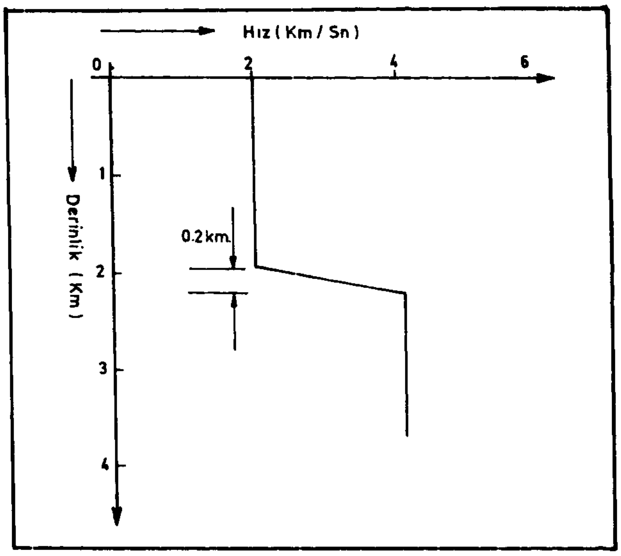



Şekil 10. **Model-II'nin kullanılması ile oluşturulan yapay yansıma sismogramı. 5 msn aralıklar ile örneklenmiş 64 örnekten oluşmaktadır.**

Fig. 10. Synthetic reflection seismogram produced of using the layered Model-II. It consists of 64 samples of 5 msec intervals.

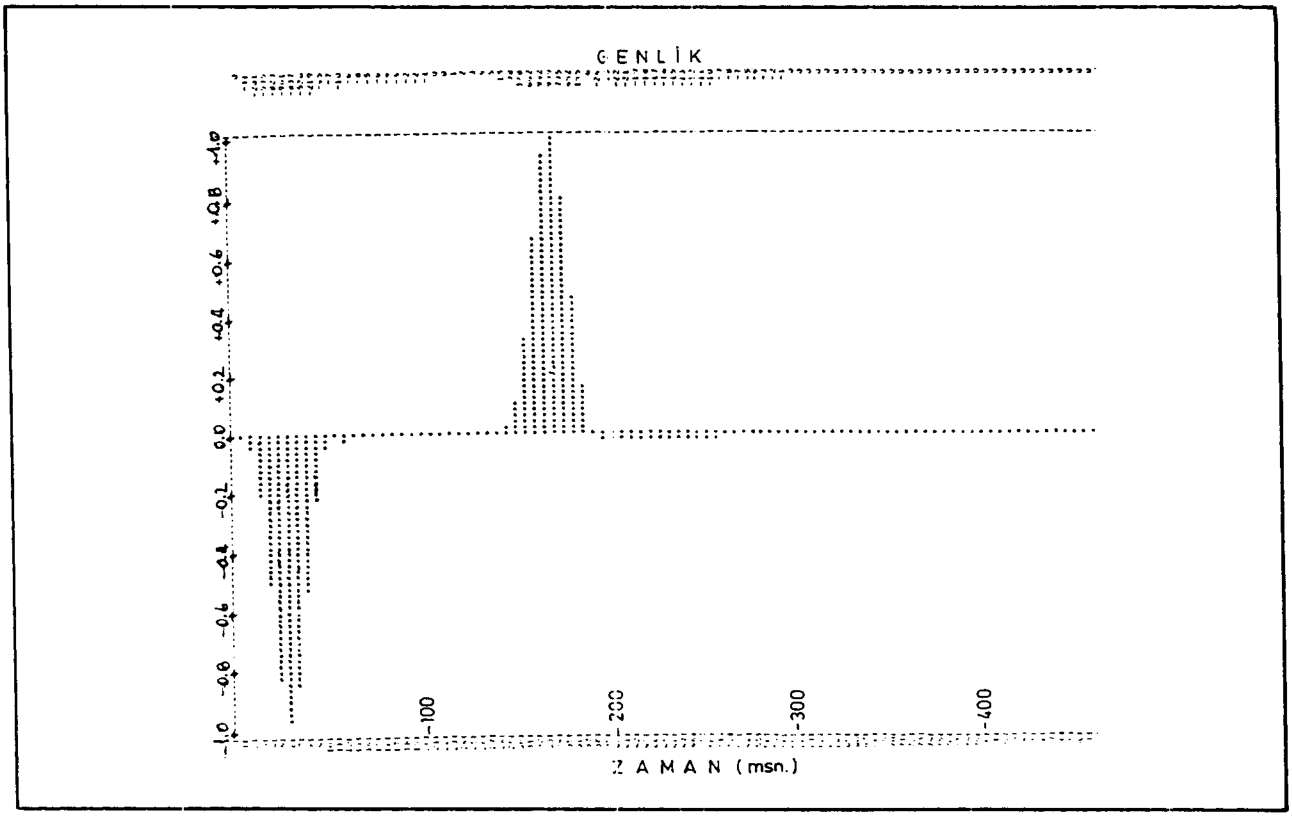



Şekil 11. Model-II'nin transfer fonksiyonu.
Fig. 11. Transfer function of Model-II.

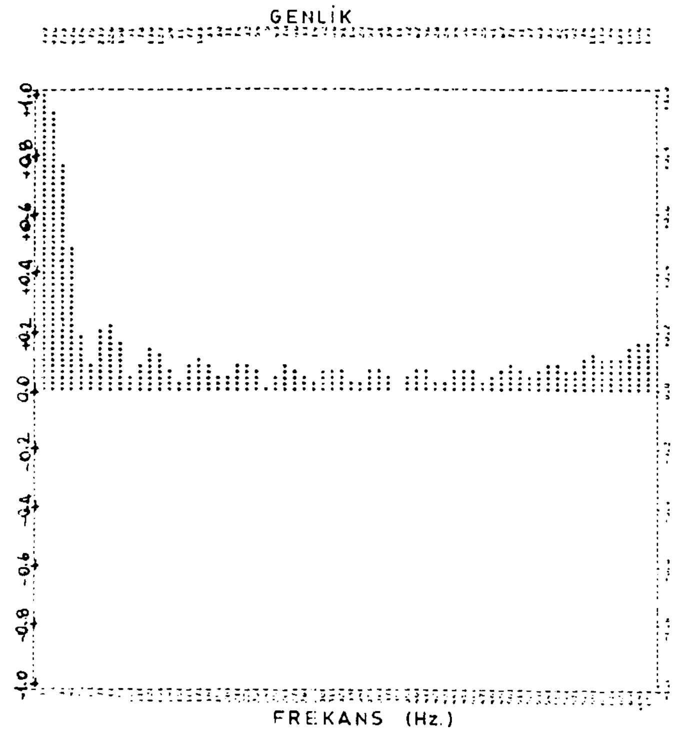



Şekil 12. 200 m'lik bir geçişzonu içeeren kuramsal Model-III.
$v_1$ = 2000 m/sn, Geçiş zonu,
$d_1$ = 2000 m, $d_2$ = 200 m,
$\rho_1$ = 2.1 gr/cm$^3$. Geçiş zonu,
$v_3$ = 4000 m/sn,
$d_3$ = 2000 m,
$\rho_3$ = 2.5 gr/cm$^3$.

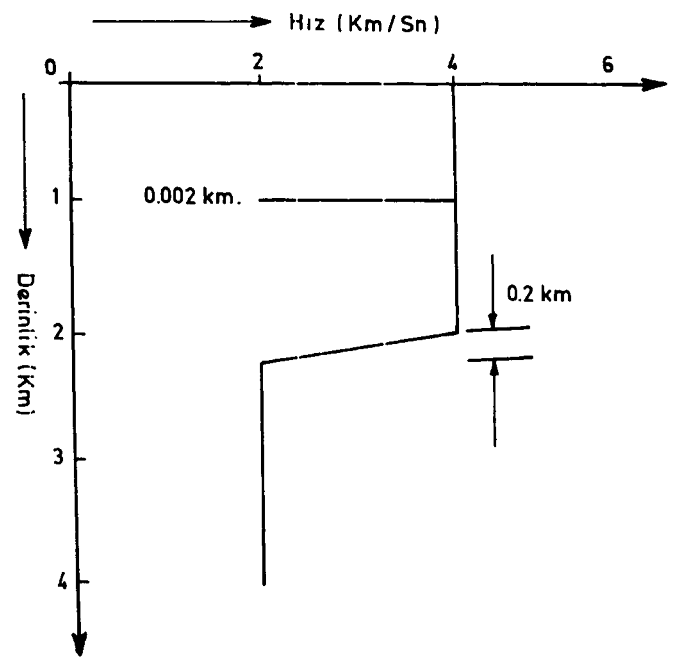
Fig. 12. Synthetic Model-III having 200 m of transition zone.




Şekil 13. Model-III'ün kullanılması ile oluşturulan yapay yansıma sismogramı.
Fig. 13. Synthetic reflection seismogram produced by using the layered Model-III.



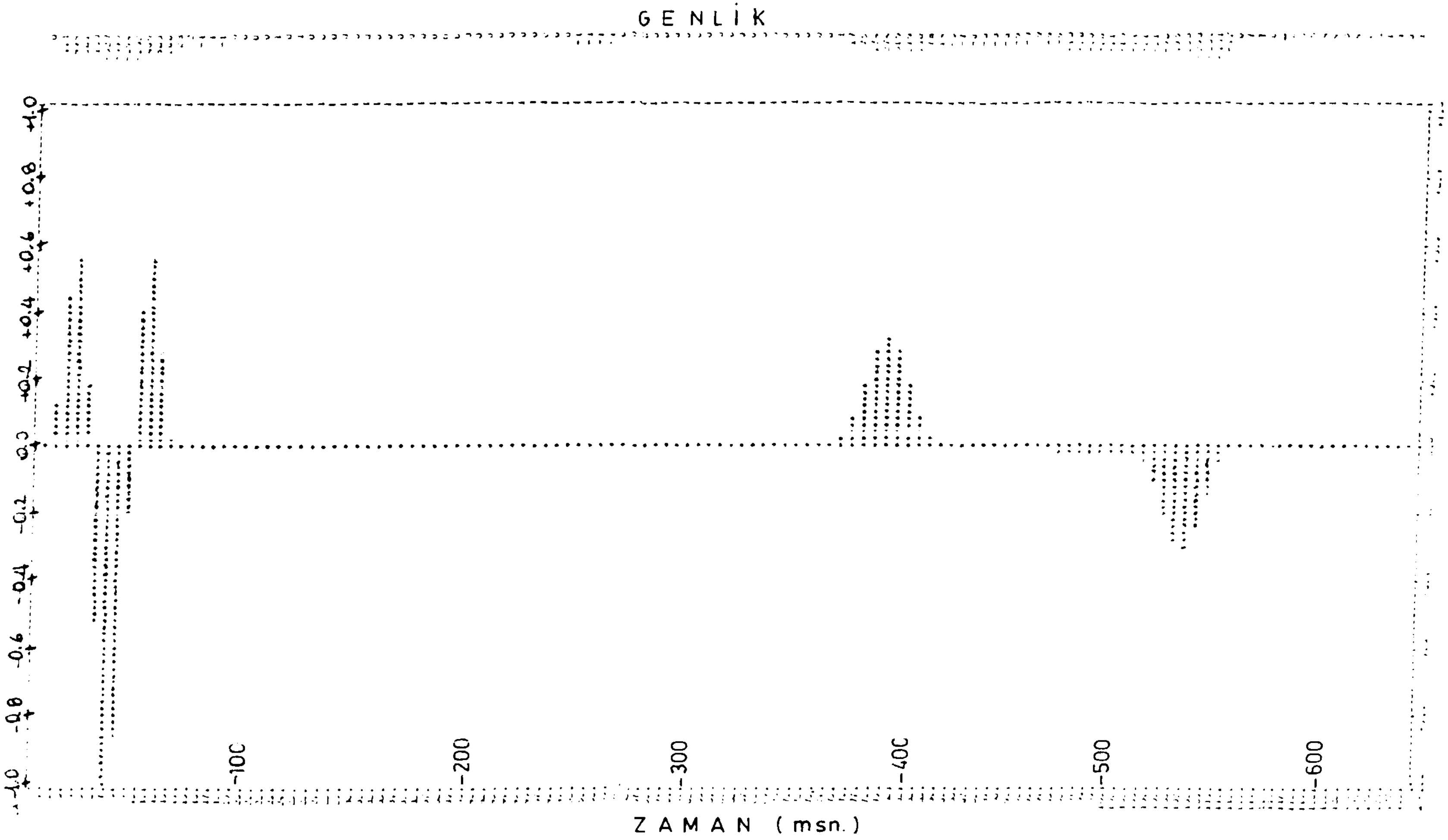

Şekil 14. Model-III'ün transfer fonksiyonu.
Fig. 14. Transfer function of Model-III.



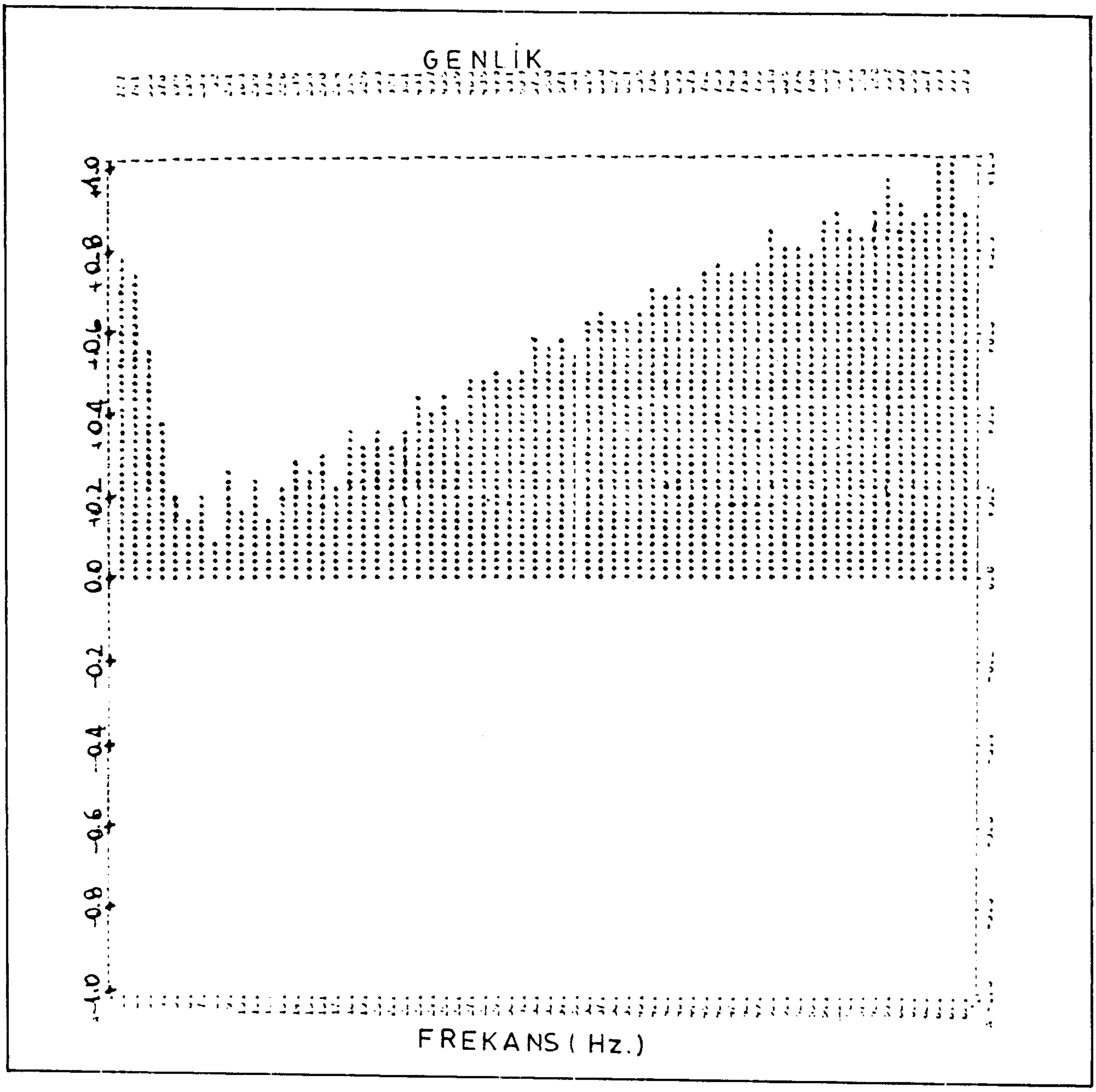

Şekil 15. 200 m'lik bir geçiş zonu ve 2 m'lik ince bir tabakayı içeren yapay Model-IV.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $V_1$ = 4000 m/sn, | $V_2$ = 2000 m/sn, | $V_3$ = 4000 m/sn, | Geçiş zonu, | $V_5$ = 2000 m/sn, |
| $d_1$ = 1000 m, | $d_2$ = 2 m, | $d_3$ = 1000 m, | $d_4$ = 200 m, | $d_5$ = 2000 m, |
| $\rho_1$ = 2.5 gr/cm$^3$, | $\rho_2$ = 2.1 gr/cm$^3$, | $\rho_3$ = 2.5 gr/cm$^3$, | Geçiş zonu, | $\rho_5$ = 2.1 gr/cm$^3$. |

Fig. 15. Synthetic Model-IV having 200 m of transition zone and 2 m of thin layers.




Şekil 16. Model-IV'ün kullanılması ile oluşan yapay yansıma sismogramı. 5 msn aralıklar ile örneklenmiş 128 örnekten oluşmaktadır.
Fig. 16. Synthetic reflection seismogram produced by using the layered Model-IV. It consists of 128 samples of 5 msec intervals.




Şekil 17. Model IV'ün transfer fonksiyonu.
Fig. 17. Transfer function of Model-IV.

## KAYNAKLAR


Fertig, J. and Müller, G. 1978, Computations of Synthetic Seismograms for coal seams with the reflectivity method, Geophysical Prospecting 26, 868-883.

Fuchs, K. 1966, The transfer function for P waves for a system consisting of a point source in a layered medium, Bull. Seism. Soc. Am. 56, 75-108.

Nafe J.E., and Drake C.L. 1963, The Sea, Pergamon Press, Newyork.

Robinson E.A. and Treitel S. 1977, The spectral function of a layered system and the determination of the waveforms at depth, Geophysical Prospecting 25, 434-459.