

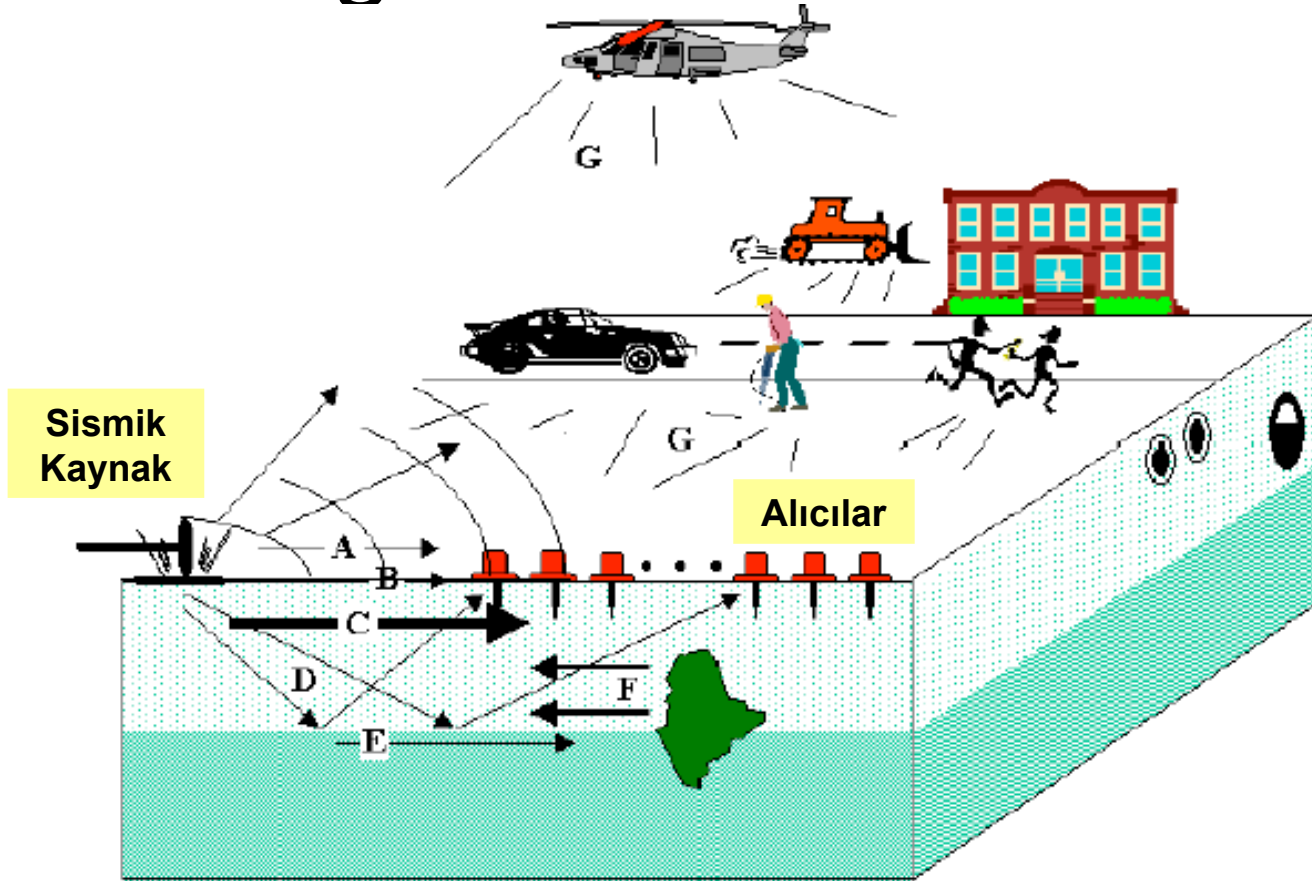
# Kent Jeofiziğinde Yeni Bir Seçenek: Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Yöntemi

**Kerim Avcı<sup>(1)</sup> ve Ferhat Özçep<sup>(2)</sup>**

**(1) Jeofizik Mühendisi, Çoruh Mühendislik, İstanbul**

**(2) İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Böl.**

# Sismik Dalgalar



A: Hava Dalgası B: Direkt Dalga C: Yüzey Dalgası D: Yansıma

E: Kırılma F: Yüzey Dalgasının Geri Yansıması G: Rasgele Kültürel Dalga

# Sismik Dalga

= Yüzey Dalgası + Cisim Dalgası

- Yüzey Dalgası
  - Temel Mod (**Sinyal**)(en düşük hızda seyahat eden en düşük frekans)
  - Yüksek Modlar (Gürültü)
- Cisim Dalgası (Gürültü)
  - Doğrudan Gelen Dalga
  - Kırılma
  - Yansımaya
  - diğ.

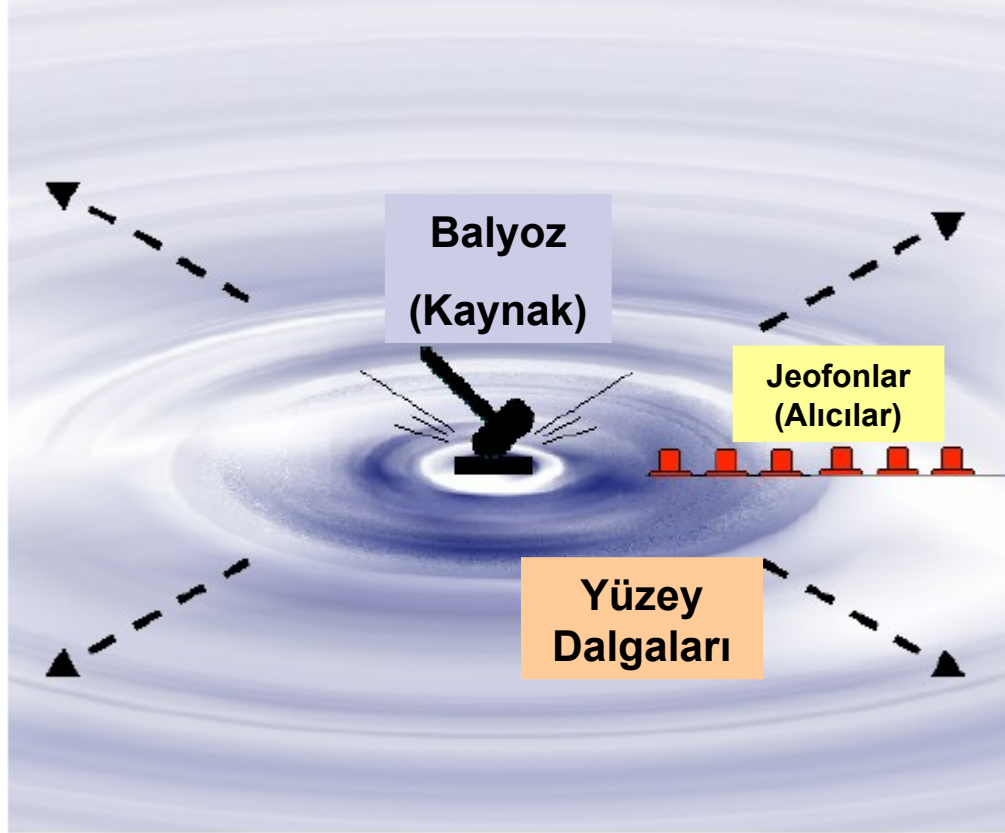


# Yüzey Dalgası

---

- Yüzey Dalgası : Bir Yüzey boyunca yayılan Sismik Dalga
  - Sismik Dalga =  
Yüzey Dalgası ( $> 70\%$ )  
+ Cisim Dalgası ( $< 30\%$ )
-

# Yüzey Dalgası

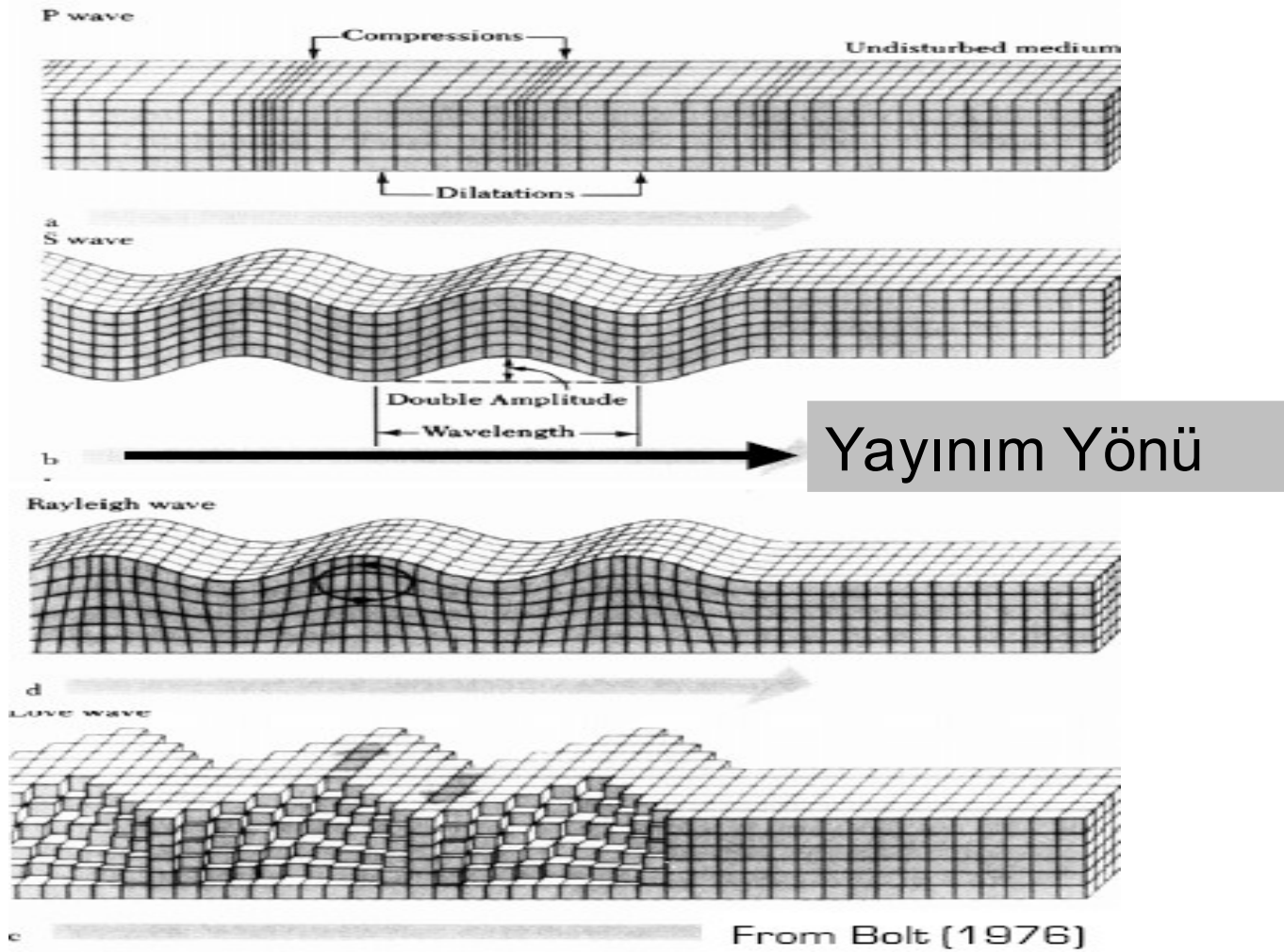


# Yüzey Dalgaları?

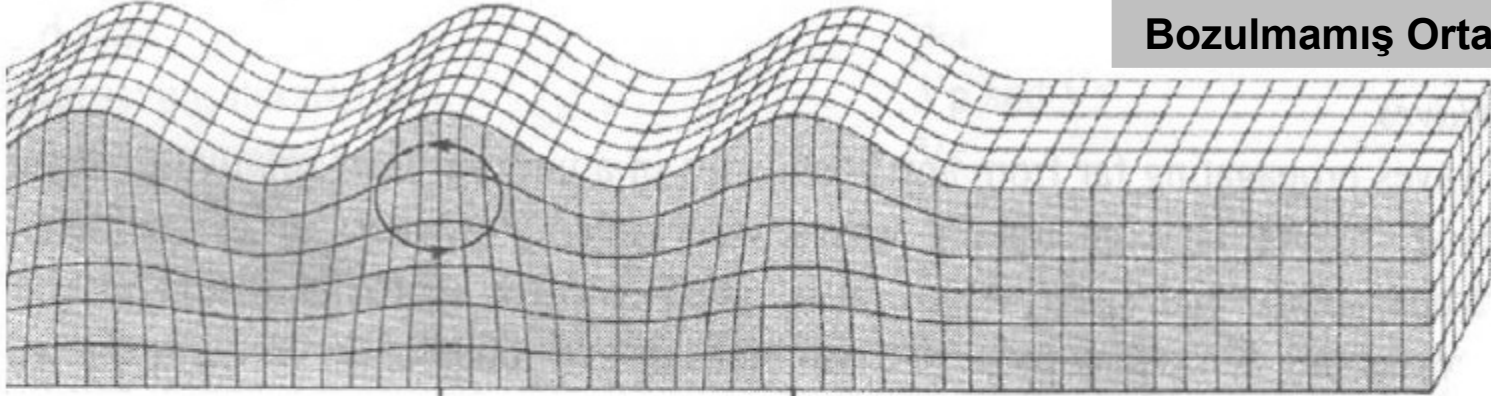
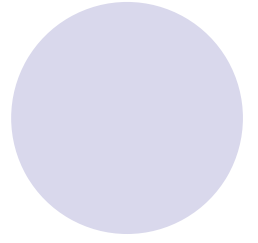
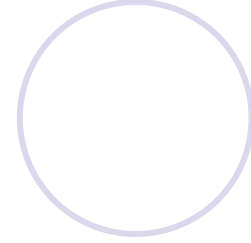
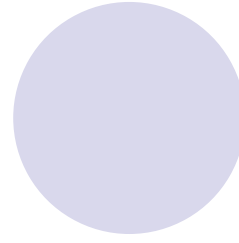
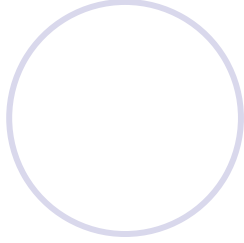
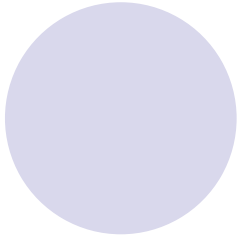
---

- Yer yüzeyi boyunca seyahat eden Sismik Enerji,
  - Farklı Türde Yüzey Dalgaları vardır. Biz Burda yüzey dalgası derken Rayleigh dalgasını kastediyoruz.
  - Bu dalgalar göreceli olarak düşük hız, düşük frekans ve yüksek genlikle karakterize edilirler.
  - Aktif ve pasif kaynaklarla kolayca üretilebilirler.
-

# Partikül Hareketi ve Yayınım Yönü

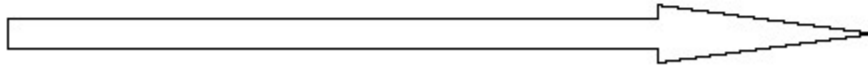






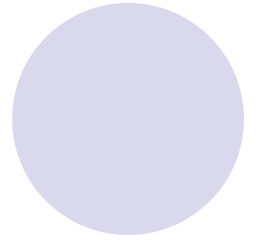
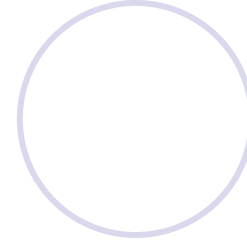
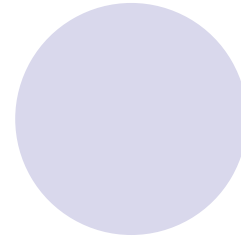
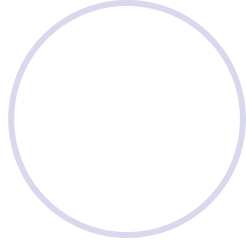
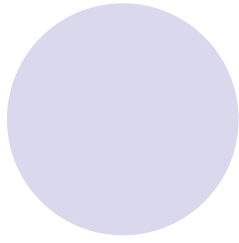
**Bozulmamış Ortam**

**Dalga Boyu,  $\lambda_R$**



**Yayınım Yönü**

**Bolt (1976)'dan**



# Yüzey Dalgaları Özellikleri

- Yüzey dalgaları yüksek oranda enerjiye (üretilen enerjinin % 60-70'ne kadar) sahiptirler ( Depremler sırasında yıkıcı etkileri ile bilirler). Hava-zemin arayüzeyinde üretilen yüzey dalgaları Rayleigh dalgaları olarak bilinir. Bu dalgaların partikül hareketi retrograde (ters lokomotif hareketi) dir.

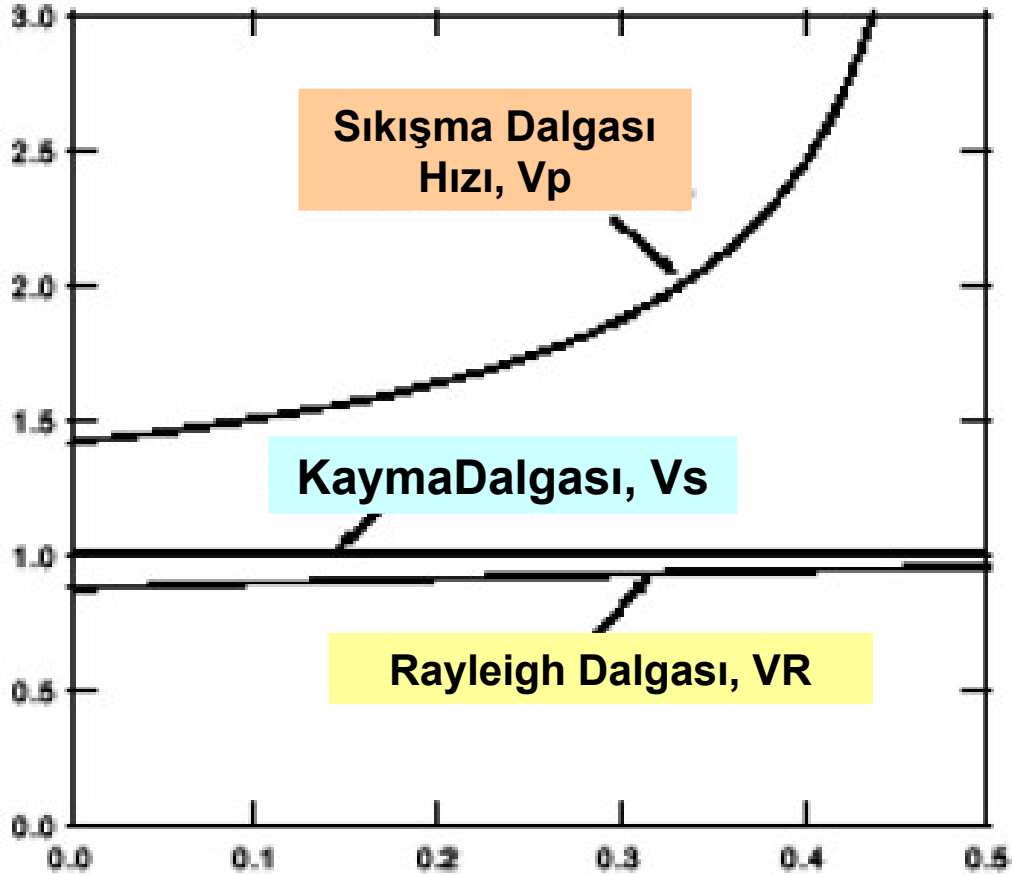
# Yüzey Dalgaları Özellikleri

- Bir yüzey dalgasının partikül hareketinin genliği derinlikle üstel olarak azalır . Öyle ki dalga enerjisinin büyük bir bölümü bir dalga boyu içindedir.
- Homojen izotrop yarı-uzayda bütün yüzey dalgaları aynı hızda hareket ederler. Bununla gerçek bir zeminde (çok tabakalı, yada elastik özellikleri derinlikle değişen) yüzey dalgalarının hızı dalga boyuna ( yada frekansa) bağlıdır. Böyle bir dalga için dispersiyon özelliği gösterir denir. Bu temel özellik S hızı - derinlik profillerini oluşturmada kullanılır.

# Yüzey Dalgaları Özellikleri

- Rayleigh dalgalarının ikinci önemli özelliği yayınım hızının ( $V_R$ ) kayma dalgası hızına oldukça yakın olmasıdır ( $V_R = 0.87$  ila  $0.96 V_s$ 'dir, poisson oranına bağlı olarak). Bu ilişki geoteknik çalışmalarda kayma dalgasını çeşitli amaçlar için kullanımı (kayma modülü belirleme, büyütme ve sıvılaşma analizleri v.b.) için önemlidir. Yüzey dalgası ölçümleri tahribatsız ve ekonomik olarak doğal / bozulmamış durumdaki zeminin mukavemet derinlik ilişkilerini oluşturmamızı sağlamaktadır.

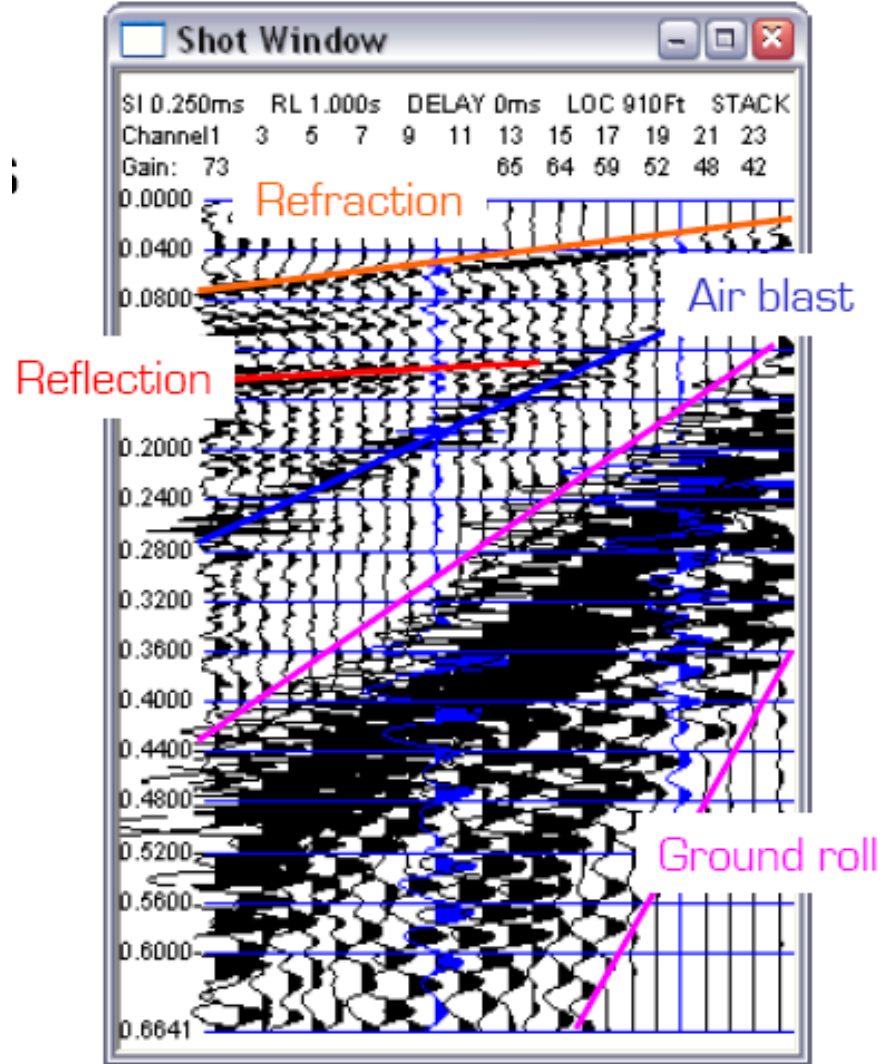
Vs hızına göre Normalize edilmiş hız



Üniform yarı-sonsuz bir ortamda Rayleigh dalgası ve Kayma dalgası hızının Poisson oranına bağlı olarak karşılaştırılması (Richart ve diğ.,1970)

# Yüzey Dalgaları ile Cisim Dalgaları Karşılaştırma

- P dalgası hızından daha düşüktür, buna karşın S dalgaları hızına yakındır.
- Dispersif özellik gösterir. Hızları Frekanla değişir.
- Yüzey dalgaları daha yüksek genliğe sahiptir, üretilmesi ve kaydedilmesi daha kolaydır. Yüzey dalgası genliği uzaklıkla  $\propto 1/\sqrt{r}$  olarak azalırken cisim dalgası genliği  $\propto 1/r$  ile azalır.

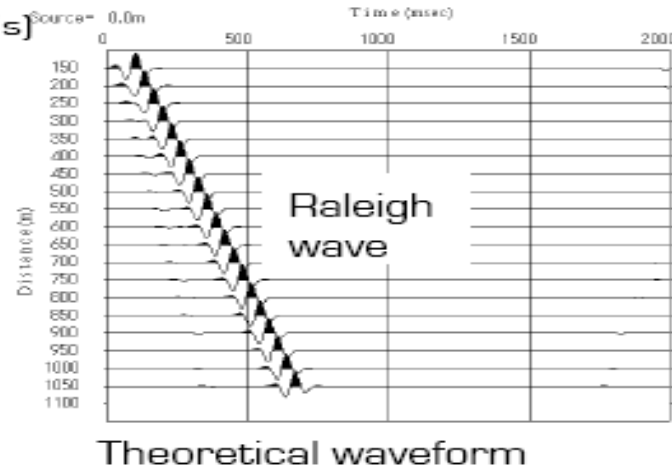
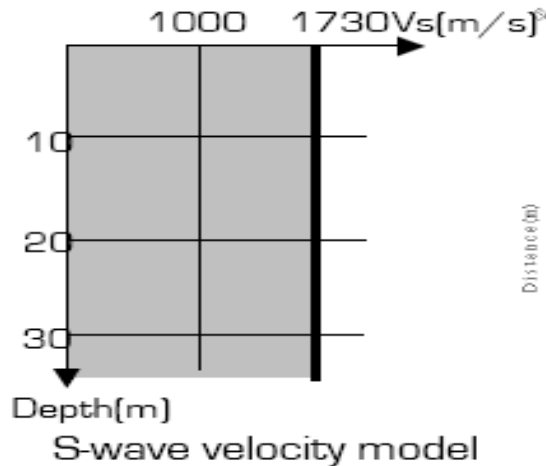
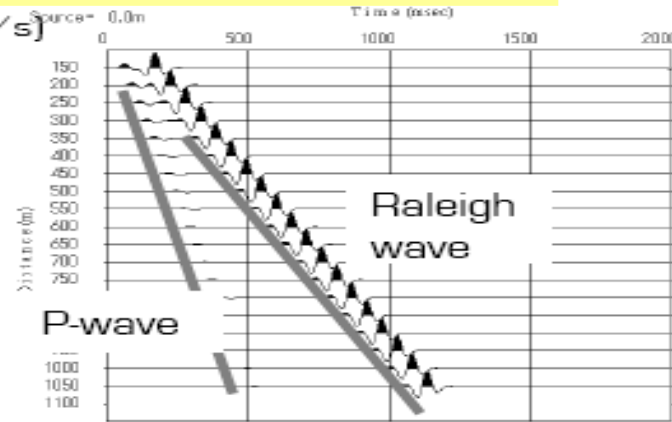
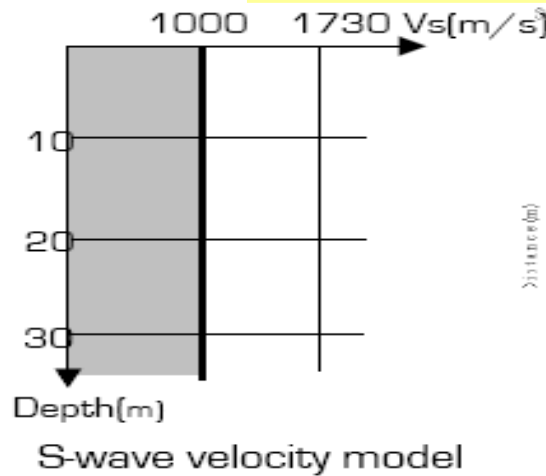




# Yüzey Dalgaları Hızı

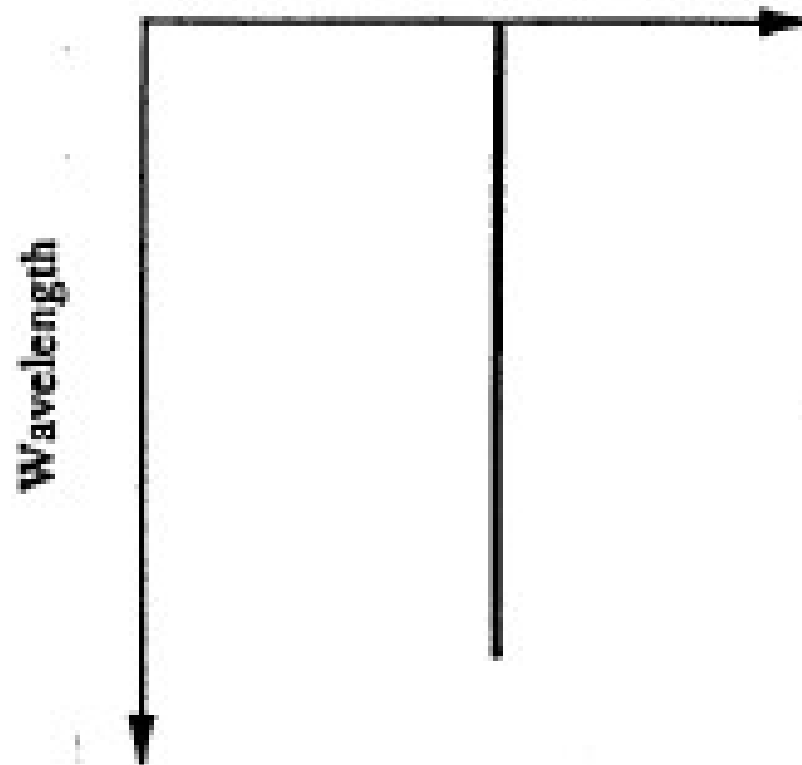
## Homojen Model

Homojen  
durumda  
dispersiyon  
yoktur.

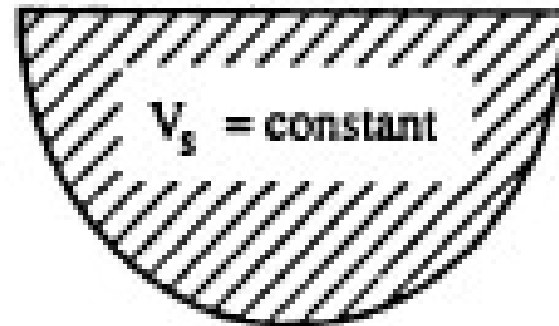




## Surface Wave Phase Velocity

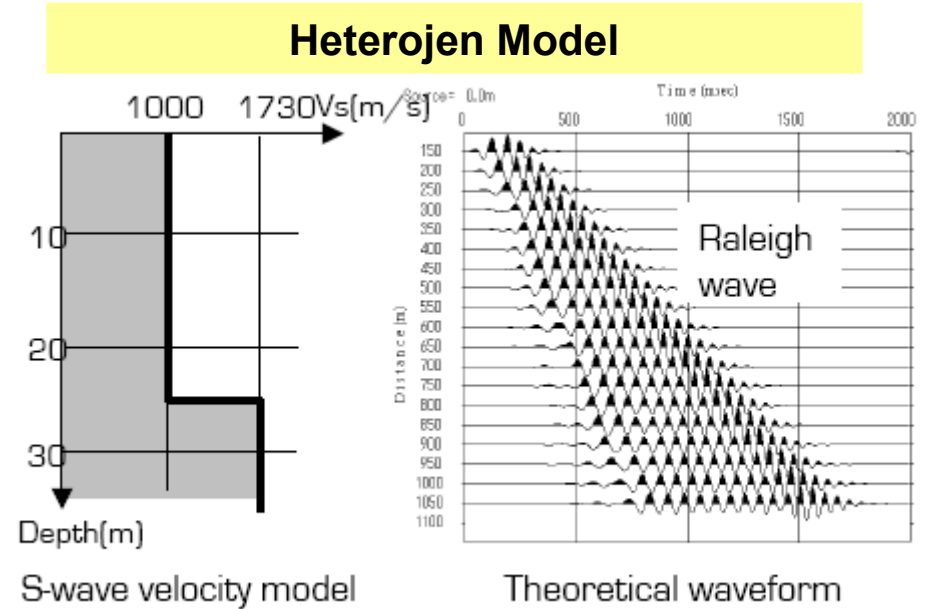


Profile

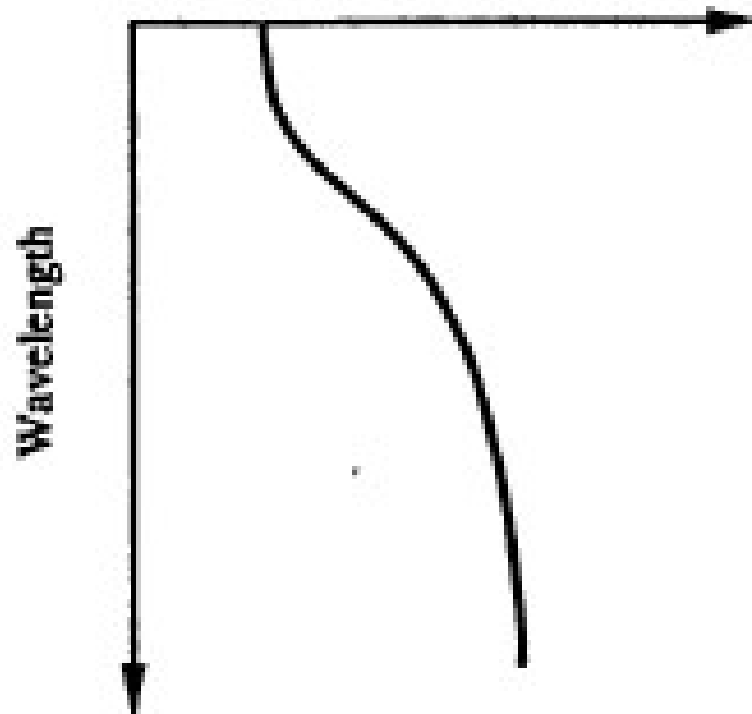


# Yüzey Dalgası Dispersiyonu

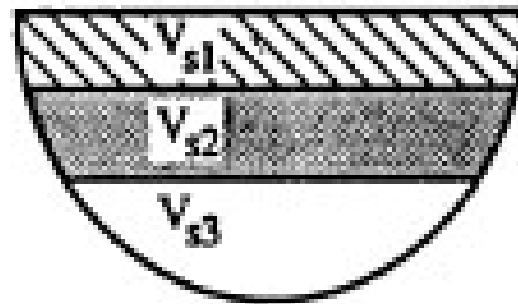
- Yüzey dalgası hızı malzeme özelliklerine bağlıdır.
- Tabakaların elastik özellikleri/ mukavemetlerindeki değişim farklı frekanslarda farklı hızlarla seyahat eden dalgalar yaratır (dispersiyon)
- Fan biçimli yüzey dalgası dispersiyonun karakteristik özelliğidir.



# Surface Wave Phase Velocity

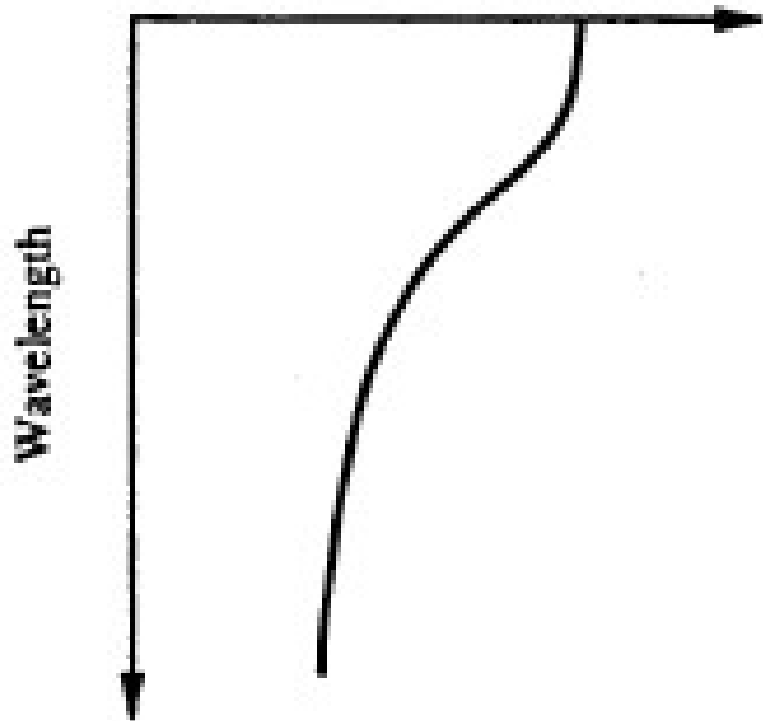


Profile

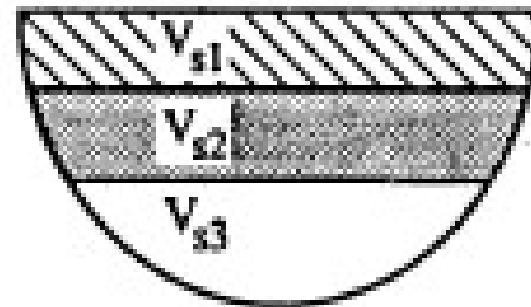


$$V_{s1} < V_{s2} < V_{s3}$$

# Surface Wave Phase Velocity



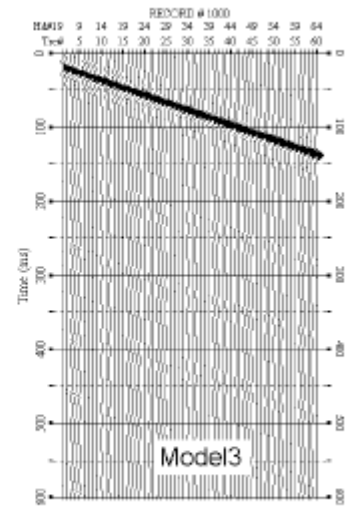
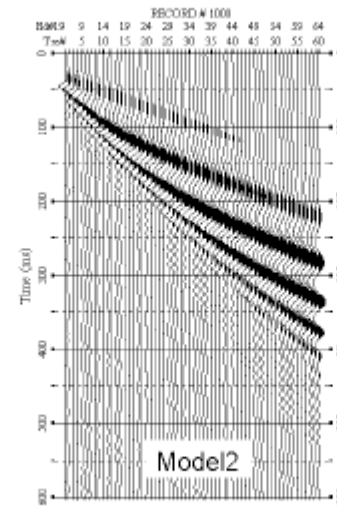
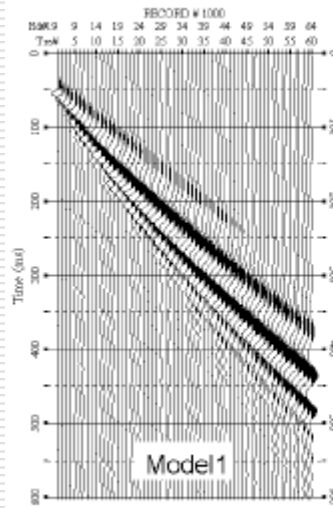
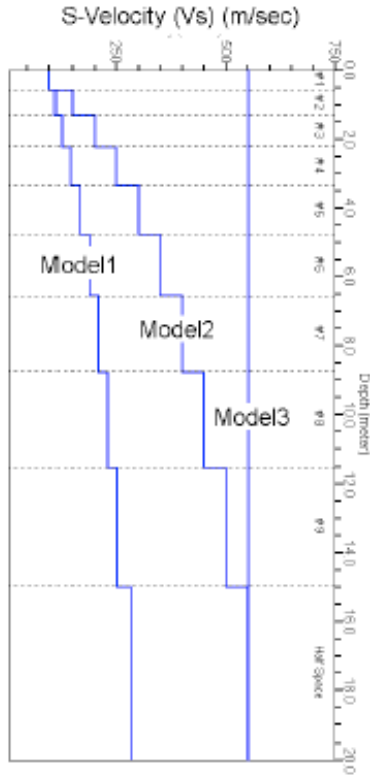
Profile



$$V_{s1} > V_{s2} > V_{s3}$$

# Çok Kanallı Kayıt Üzerinde Dispersiyon

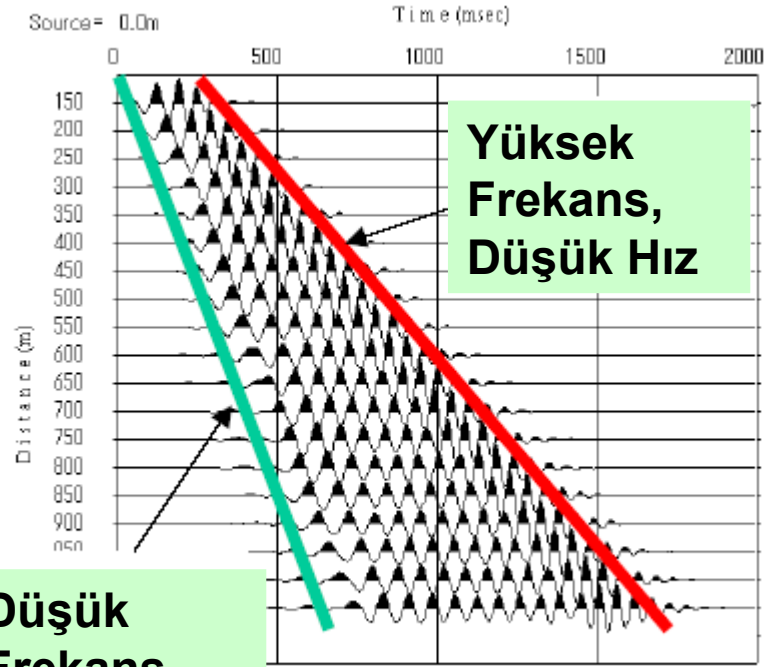
- VS'deki derinlikle daha büyük değişim, çok kanallı kayıt üzerinde daha fazla fanlanmış bir yüzey dalgası paketidir.



# Yüzey Dalgası Dispersiyonu

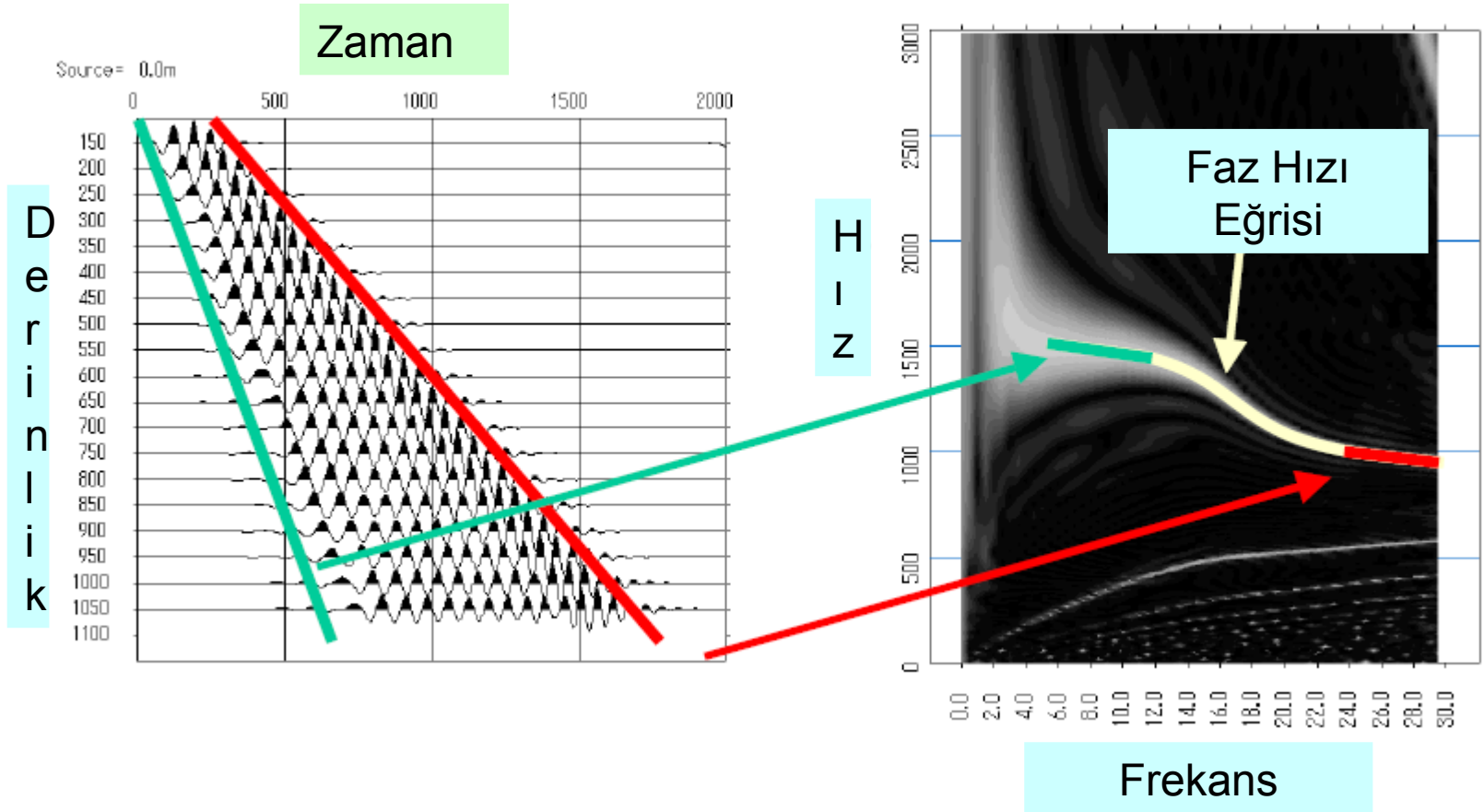
Faz hızı her bir frekansın hızıdır.

- Düşük frekans (daha uzun dalga boyu) daha çabuk hareket eder.
- Yüksek frekans (daha kısa dalga boyu) daha yavaş hareket eder.
- En uzun dalga boyu açılım kadardır.
- Kural: (aktif kaynak için) örnek derinliği yaklaşık dalga boyunun yarısıdır.



# Yüzey Dalgası Dispersiyonu

Dispersiyon grafik olarak faz hızına karşılık frekans çizilerek analiz edilir.



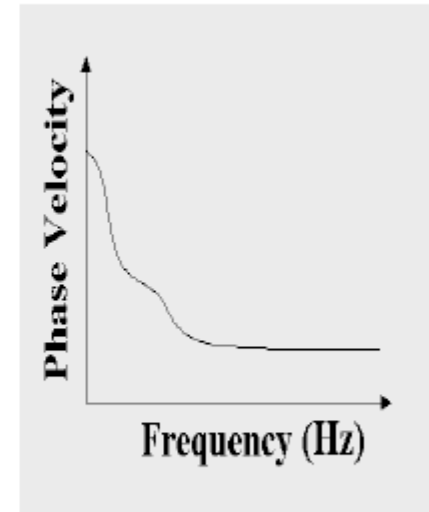
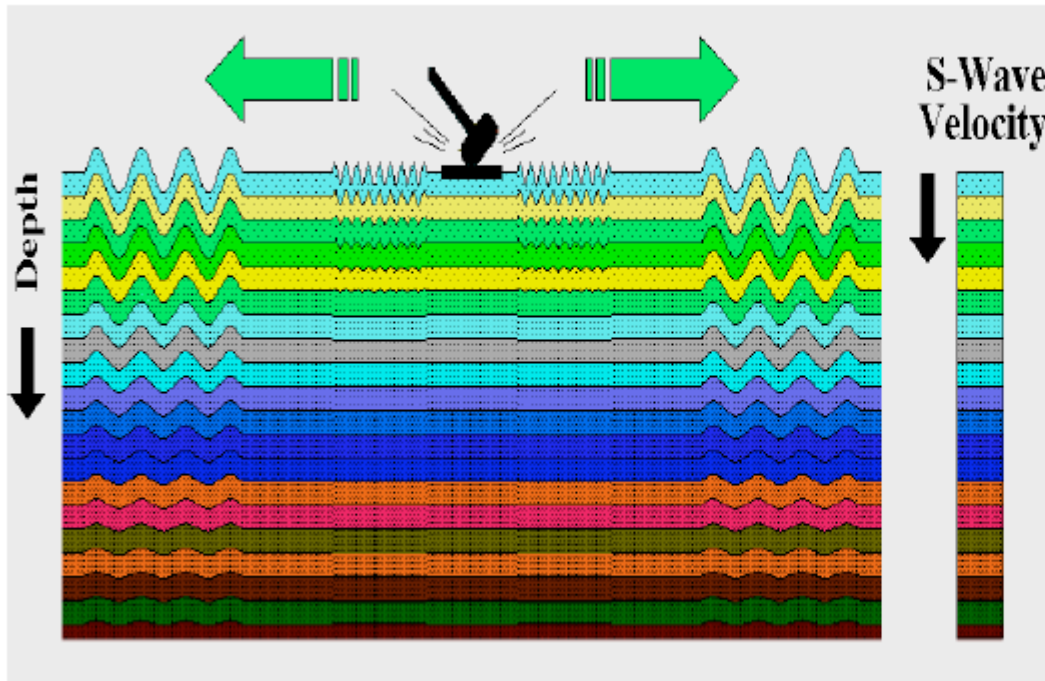


# Yüzey Dalgası Dispersiyonu

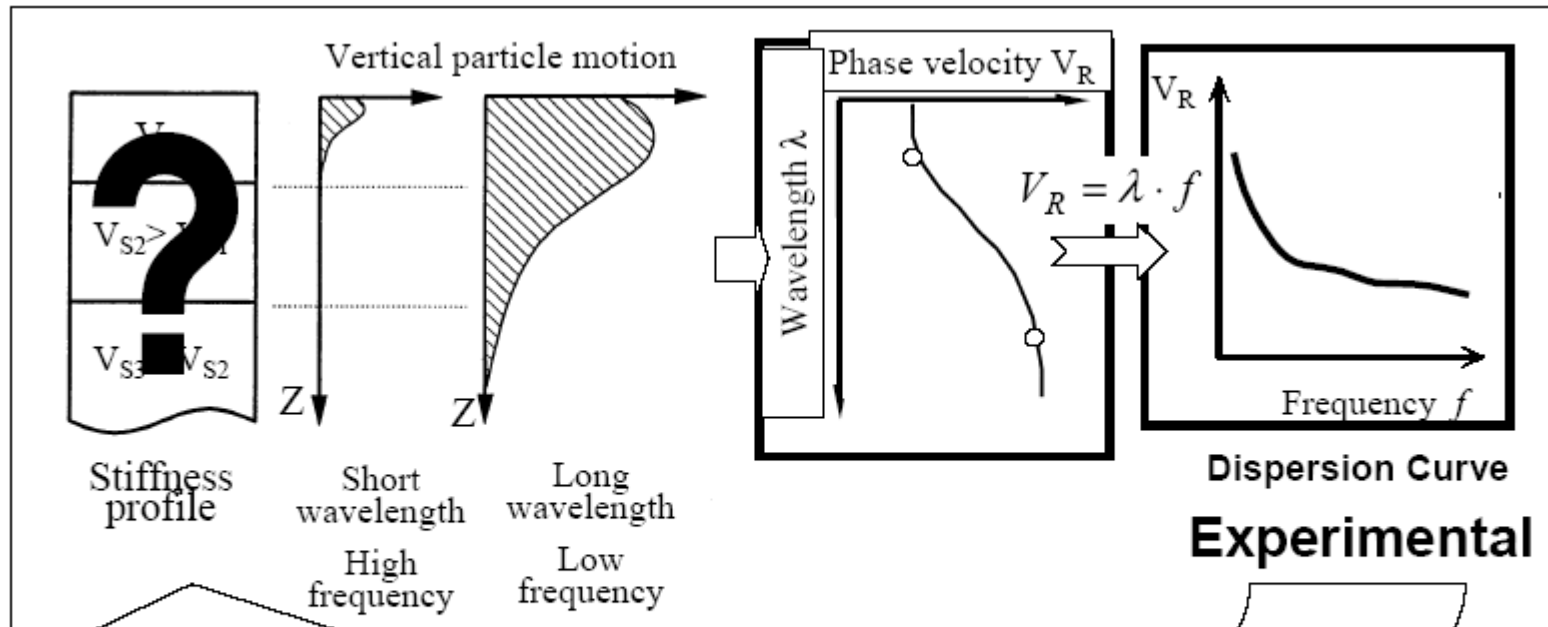
- Dispersiyon = Farklı frekanslara farklı hızlara ( Faz Hızı) sahiptir
- Frekans (  $f$  ) =  $1/\text{Periyot} = 1/T$
- Faz Hızı (  $C_f$  ) = Uzaklık/Seyahat Zamanı =  $dx/dt$
- Dalgaboyu  $=\lambda = \text{Faz Hızı} / \text{Frekans} = C_f / f$



# Yüzey Dalgası Dispersiyonu

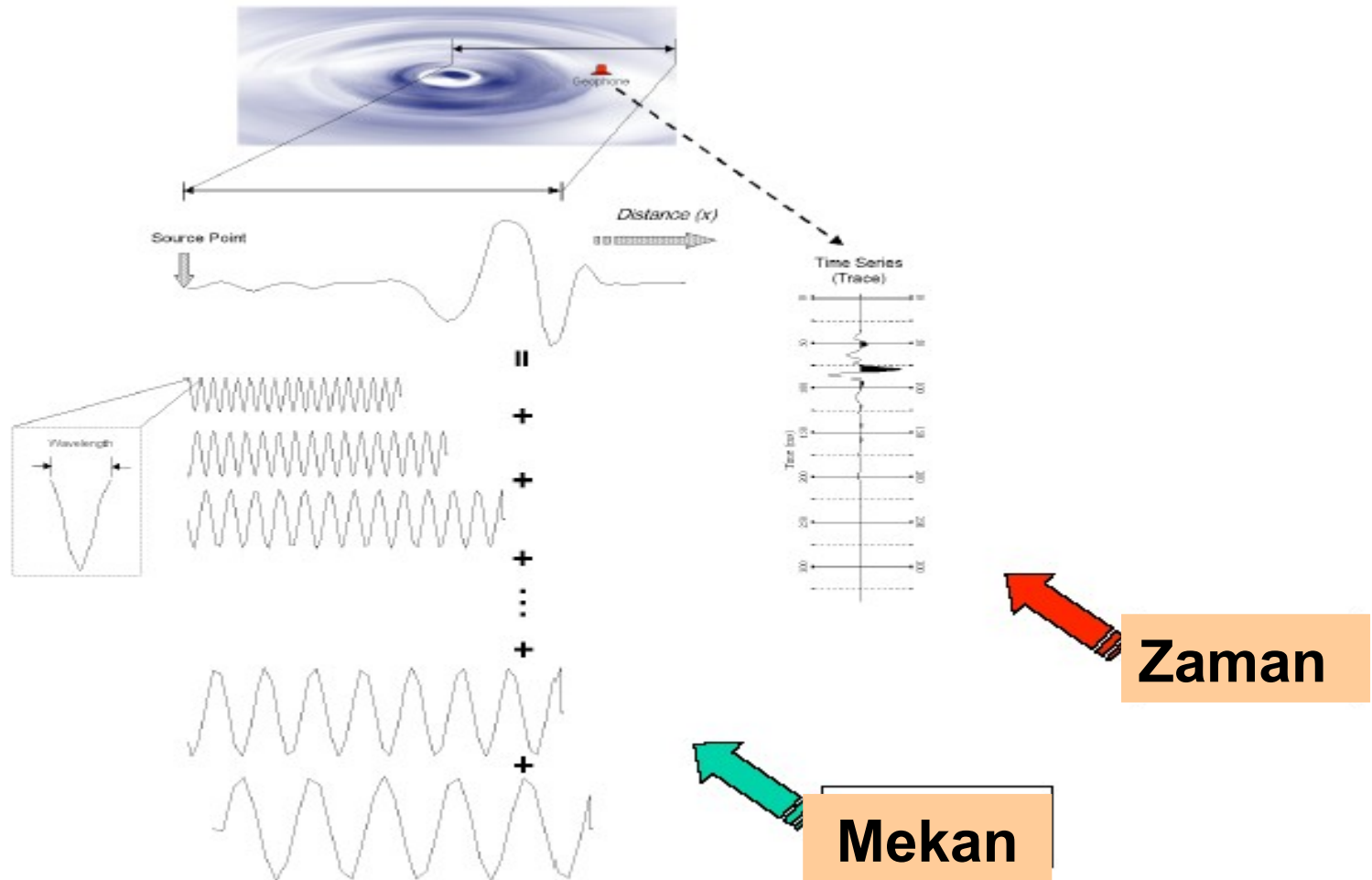


# Geometrik Dispersiyon

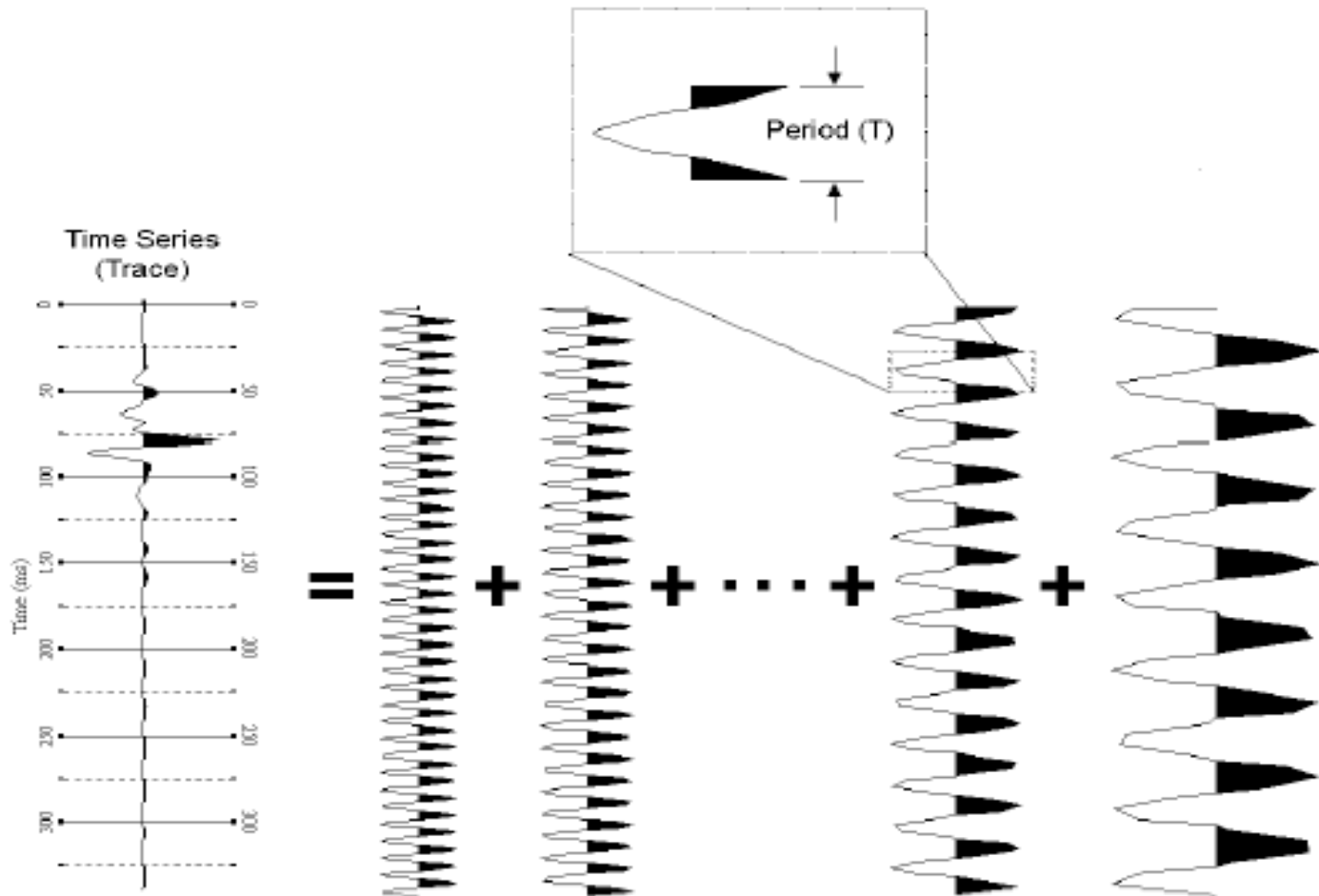


Tersçözüm

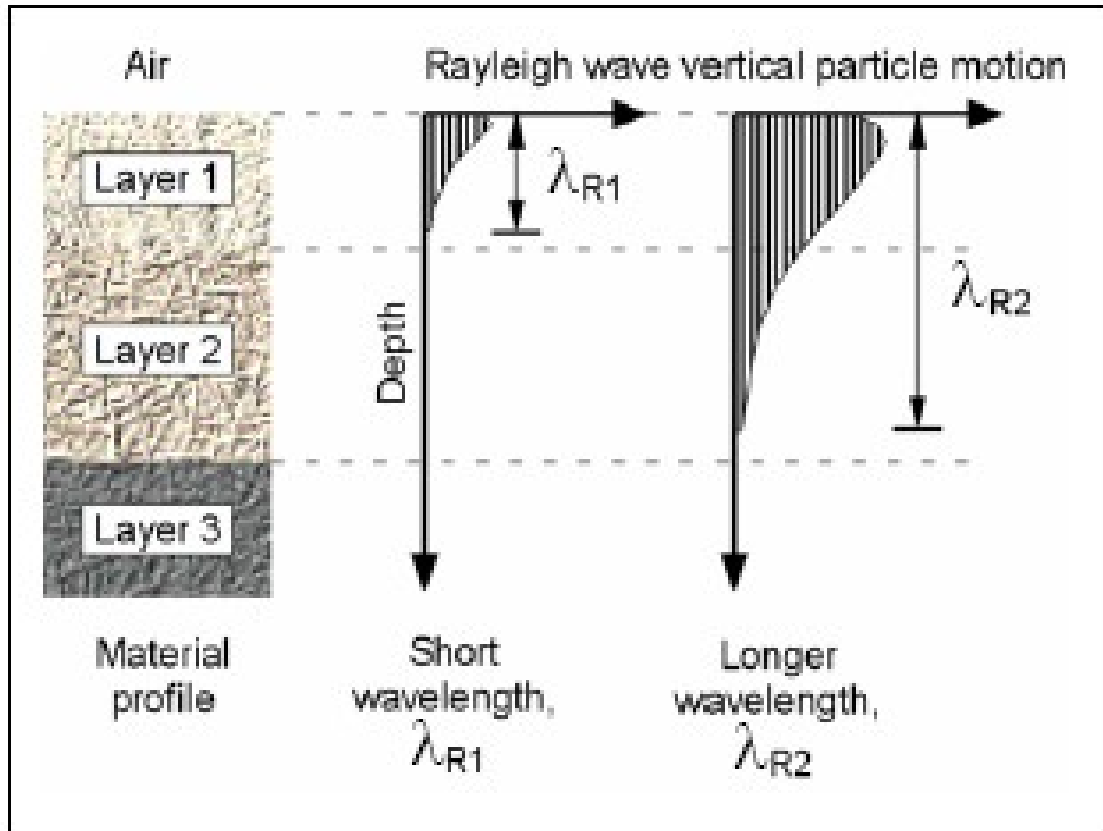
# Zaman ve Mekan Boyutunda Dispersiyon



# Zaman Boyutu



# Dalgaboyu Derinlik İlişkisi



# Zaman ve Mekan Boyutunda Rayleigh Dalgası

---

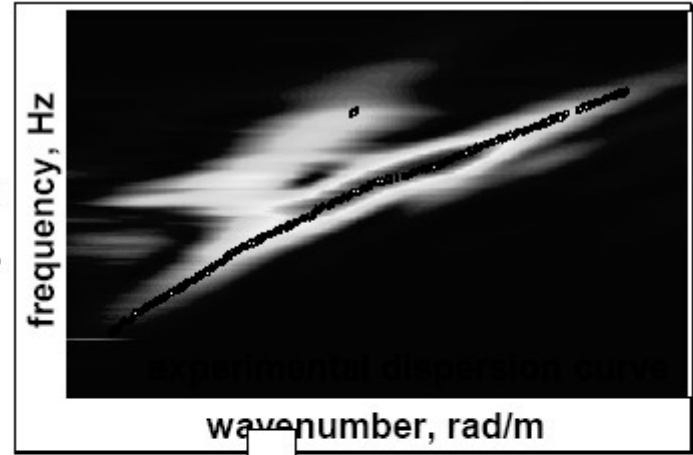
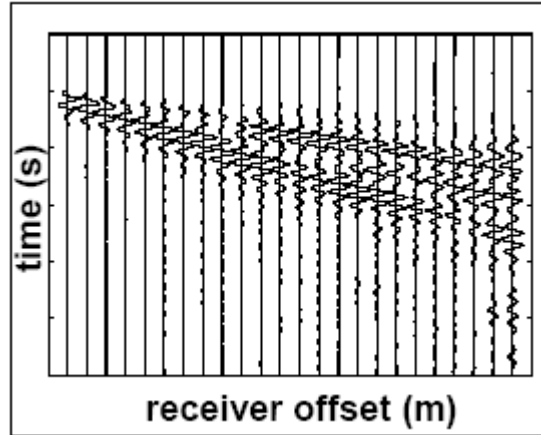
- $U(x, t)$  dalga alanının iki boyutlu Fourier Dönüşümü;

$$U(k, \omega) = \iint u(x, t) \exp[-i(\omega t - kx)] dx dt$$

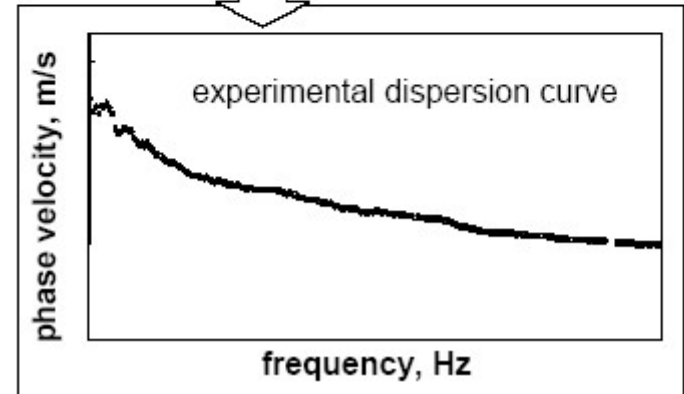
olmaktadır. Burada  $\omega = 2\pi f$  ve  $k =$  dalga sayısı  $= 1/\lambda$  dir.

---

# Fourier Dönüşümüne dayalı Yöntemler



MAXIMA



Her bir  $f$  frekansı için, VR hızı

$$v_R(f) = \frac{2\pi \cdot f}{k|_{A=A_{\max}}}$$



# Dispersiyon Eğrilerin Eldesi

---

- Dalgaboyundan, yüzey dalgalarının faz hızı aşağıdaki ilişki ile belirlenir:  
$$v_R = f \times \lambda_R$$
  - $f$  frekansını değiştirerek dispersiyon eğrisi elde etmek mümkündür.
-

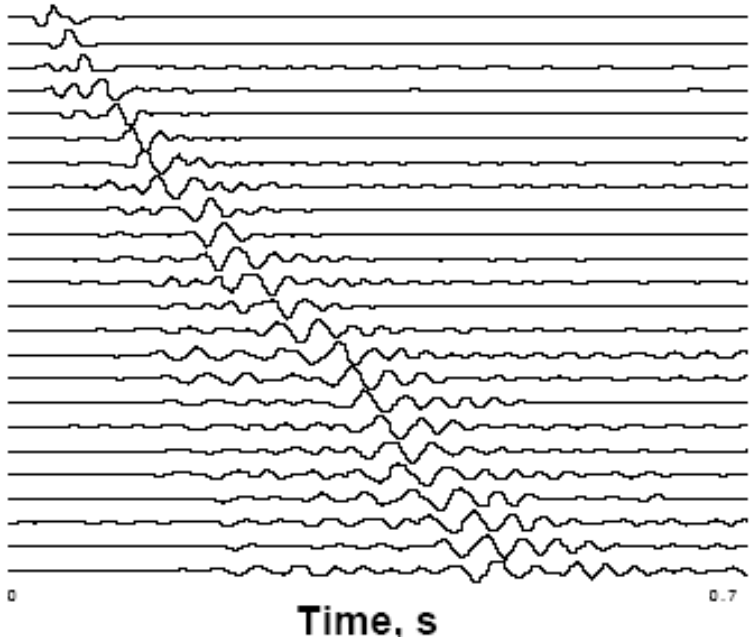
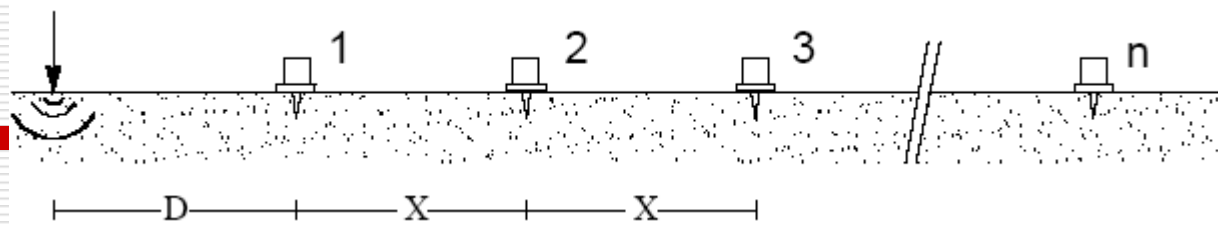


# Dispersiyon Eğrilerin Eldesi

---

- $f-k$  (frekans dalgasayısı) yönteminde,  $k_{pik}$  değeri güç spektrumunda (zaman ve mekan oramındaki verinin frekans ve dalgasayısı ortamına dönüştürmede) pik ( en büyük) değere tekabül eden dalgasayısıdır.
- Herhangi bir  $f_0$  frekansı için Rayleigh dalgası faz hızı aşağıdaki gibi hesaplanır :  
:

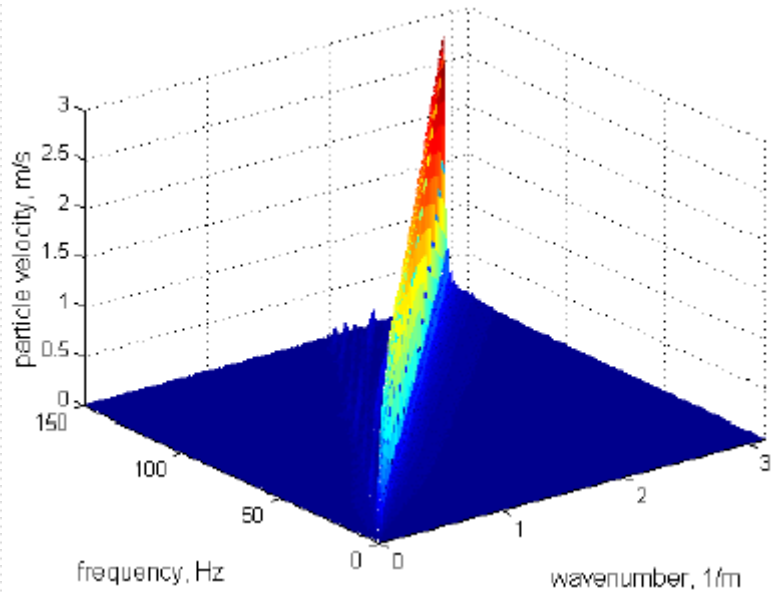
$$VR = ( 2 \pi f_0 / ( k_{pik} ) )$$



**2 Boyutlu Fourier  
Dönüşümü kullanılarak veri f-k  
ortamına aktarılır.**

$$v_R(f) = \frac{2\pi \cdot f}{k|_{P=P_{\max}}} \quad f = \text{const}$$

# f-k ortamında Analiz

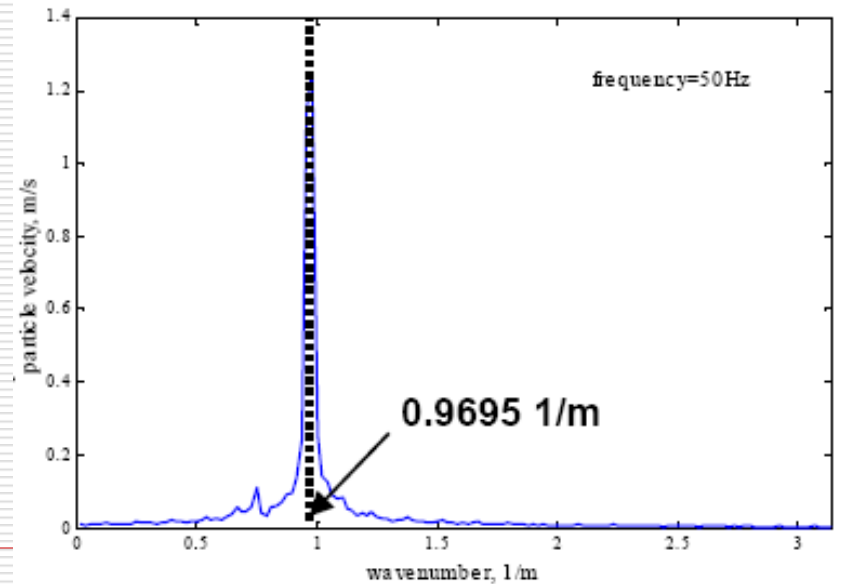
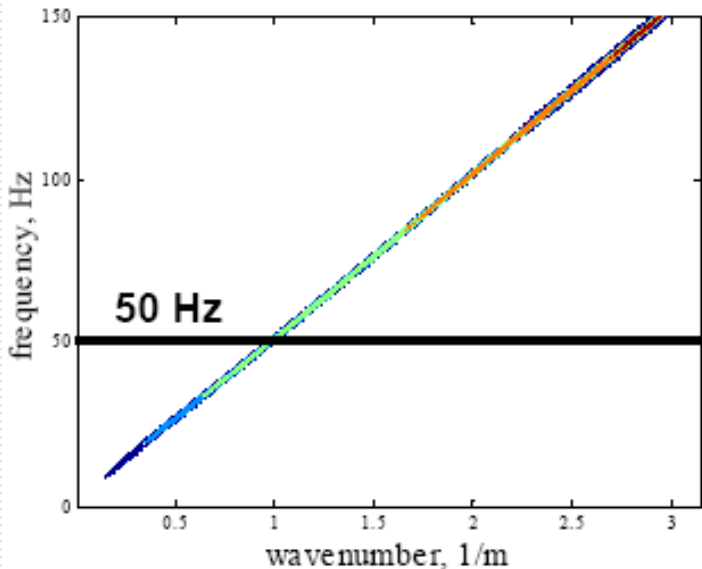


Örnek:

$f=50.05$  Hz

$k=0.9695$  1/m

$VR=324.2$  m/s



# Dispersiyon Verilerinin Ters Çözümü

---

- Hesaplanmış dispersiyon eğrisinin ters çözümü, faz hızı-frekans eğrisini kayma dalgası hızını ( $V_s$ ) kestirmek için referans olarak kullanılır. Ters çözüm algoritması Xia ve diğ. (1999) tarafından geliştirilmiştir.
-

# Homojen Ortamda VR Hızı

---

- Rayleigh dalgası hızı (VR) homojen ortamda sabittir ve aşağıdaki denklemle hesaplanır (Ergin, 1995) :
  - $$\mathbf{VR^6 / Vs^6 - 8 (VR^4 / Vs^4) + (VR^2 / Vs^2) (24 - 16(Vs^2 / Vp^2)) Vs^4 VR^2 - 16(1 - (Vs^2 / Vp^2)) = 0}$$
  - **VR** Üniform ortama içinde Rayleigh dalgası
  - **Vs** Üniform ortam içinde kayma dalgası hızı
  - **Vp** Üniform ortam içinde sıkışma dalgası hızıdır
  - Rayleigh dalgası hızı yukarıdaki denklemden görüldüğü gibi ortamın kayma ve sıkışma dalgası hızına bağlıdır.
-

# Ayrıca basit olarak

---

□  $V_R = V_s \left| \frac{0.87 + 1.7 \nu}{1 + \nu} \right|$

**formülü ile de hesaplanabilir (Viktorov (1967). Burada  $\nu$  poisson oranıdır**

---

# Heterojen Ortamda VR Hızı

---

- Heterojen ortamda kayma ve sıkışma dalgası hızları drinlikle değişmektedir. Bu nedenle Rayleigh dalgasının farklı frekastaki bileşenleri farklı faz hızları sergilerler (Bullen, 1963).
-

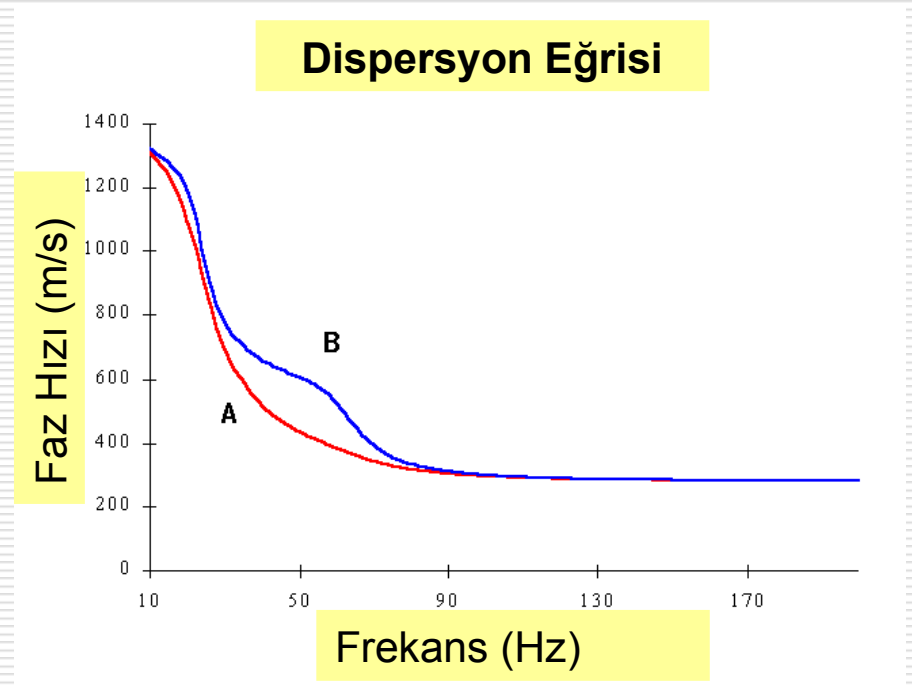
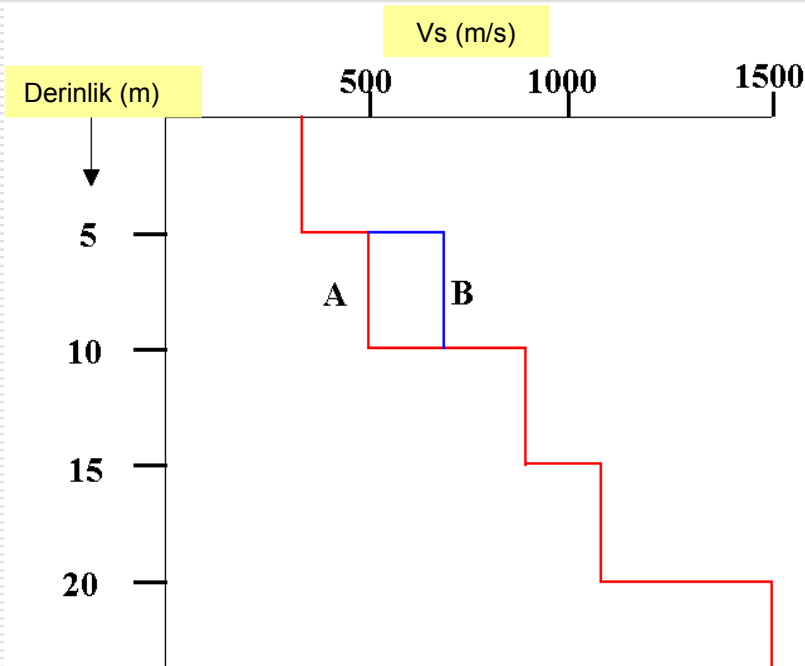
# Heterojen Ortamda VR Hızı

---

- Her bir frekans bileşeninin faz hızı aşağıdaki formda gibi verilir:
  - **$\mathbf{VR}(\mathbf{f}_j, \mathbf{VR}_j, \mathbf{Vs}, \mathbf{Vp}, \rho, \mathbf{h}) = \mathbf{0} \quad (j = 1, 2, \dots, m)$**
  - Burada:
  - **$\mathbf{f}_j$**  frekans (Hz olarak)
  - **$\mathbf{VR}_j$** ,  $f_j$  frekansında Rayleigh-dalgası faz hızı
  - **$\mathbf{Vs} = (Vs_1, Vs_2, \dots, Vs_n)^T$**  S hızı vektörü
  - **$V_{si}$**  is the shear-wave velocity of the *i*th layer
  - **$\mathbf{Vp} = (Vp_1, Vp_2, \dots, Vp_n)^T$**  sıkışma (p dalgası hızı vektörü.
  - **$V_{pi}$**  i'nci tabaka için p dalga hızı
  - **$\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)^T$**  **yoğunluk vektörü**
  - **$\rho_i$**  i'nci tabaka için yoğunluk
  - **$\mathbf{h} = (\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_{n-1})^T$**  kalınlık vektörü
  - **$\mathbf{h}_i$**  i'nci tabaka için kalınlık vektörü
  - **$n$**  zemin modeli için tabaka sayısı
-

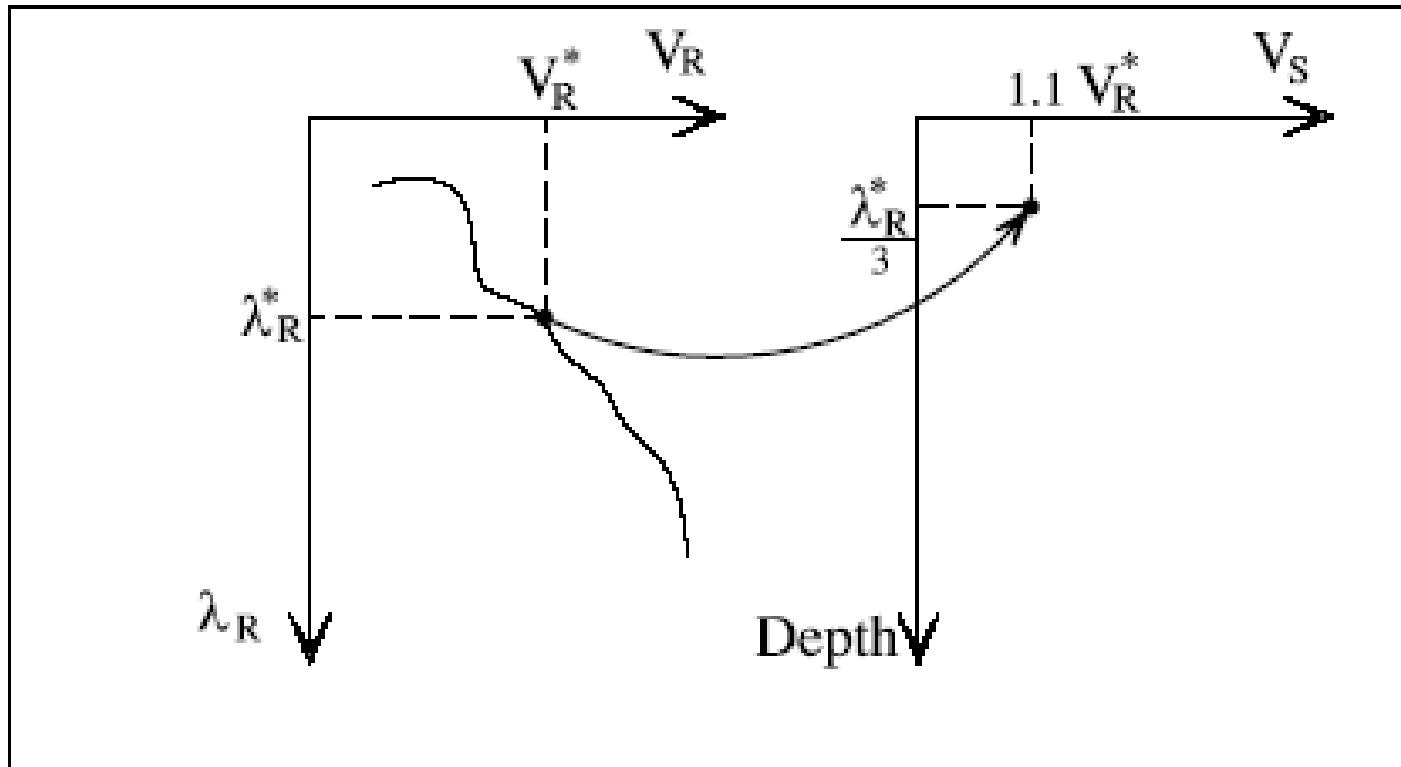


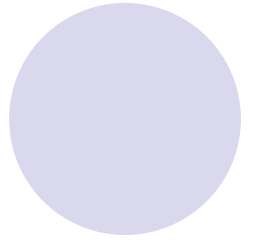
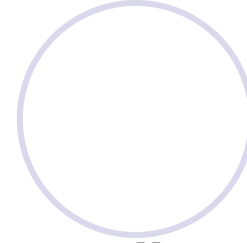
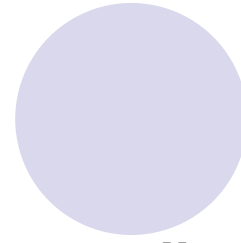
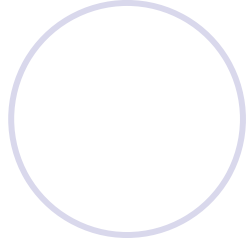
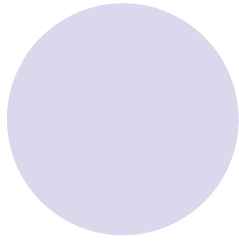
# Vs Hızı ve Faz Hızı (VR)



# Vs Hızı ve Faz Hızı ( $V_R$ )

---



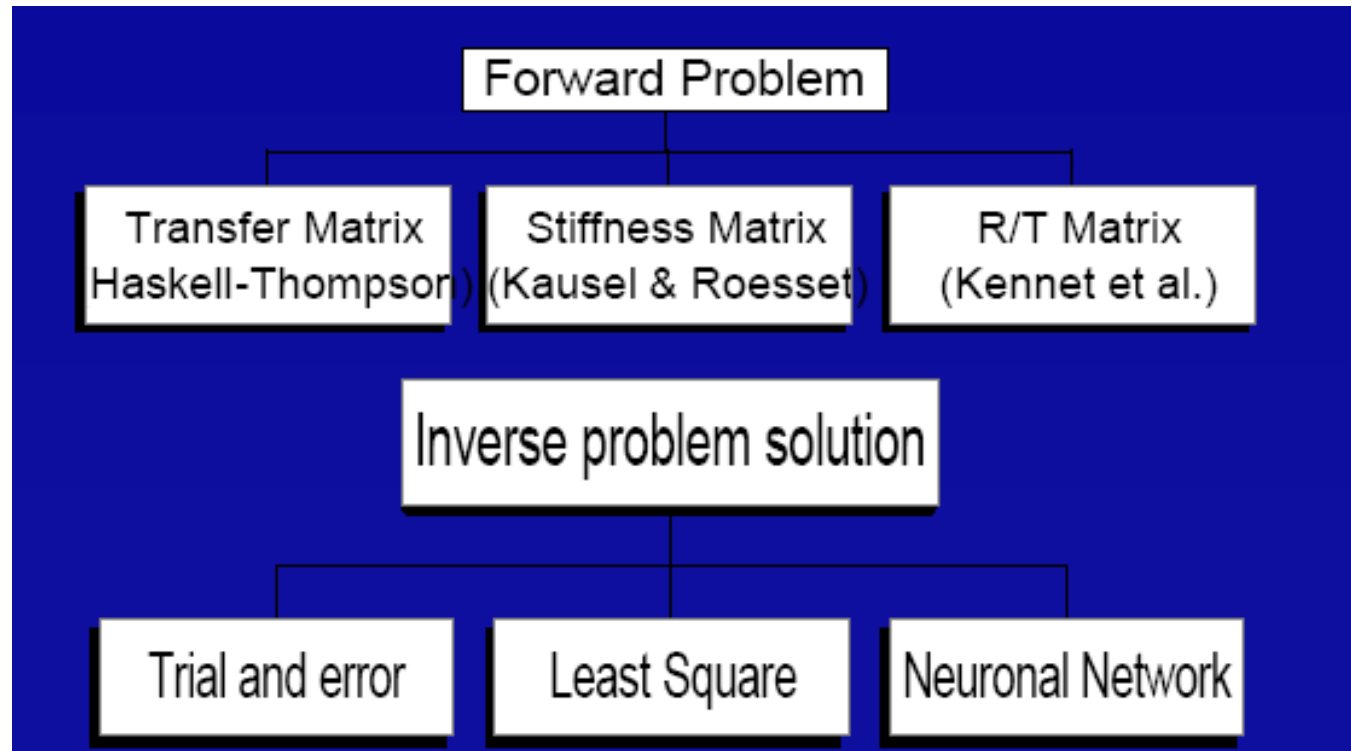


- En yaygın kullanılan tersçözüm yöntemi iterasyona başlamadan önce bir başlangıç modelini kullanır. Başlangıç modelinin anahtar parameterleri: zemin modelinin S-hızı ( $v_s$ ), P-hızı ( $v_p$ ),yoğunluk ( $\rho$ ), ve kalınlığı. Bu parametre setini kullanarak program çözüm için çalışmaya başlar. S dalgası hızı, yüzey dalgası hızına en hassas ve etkili parameterdir.

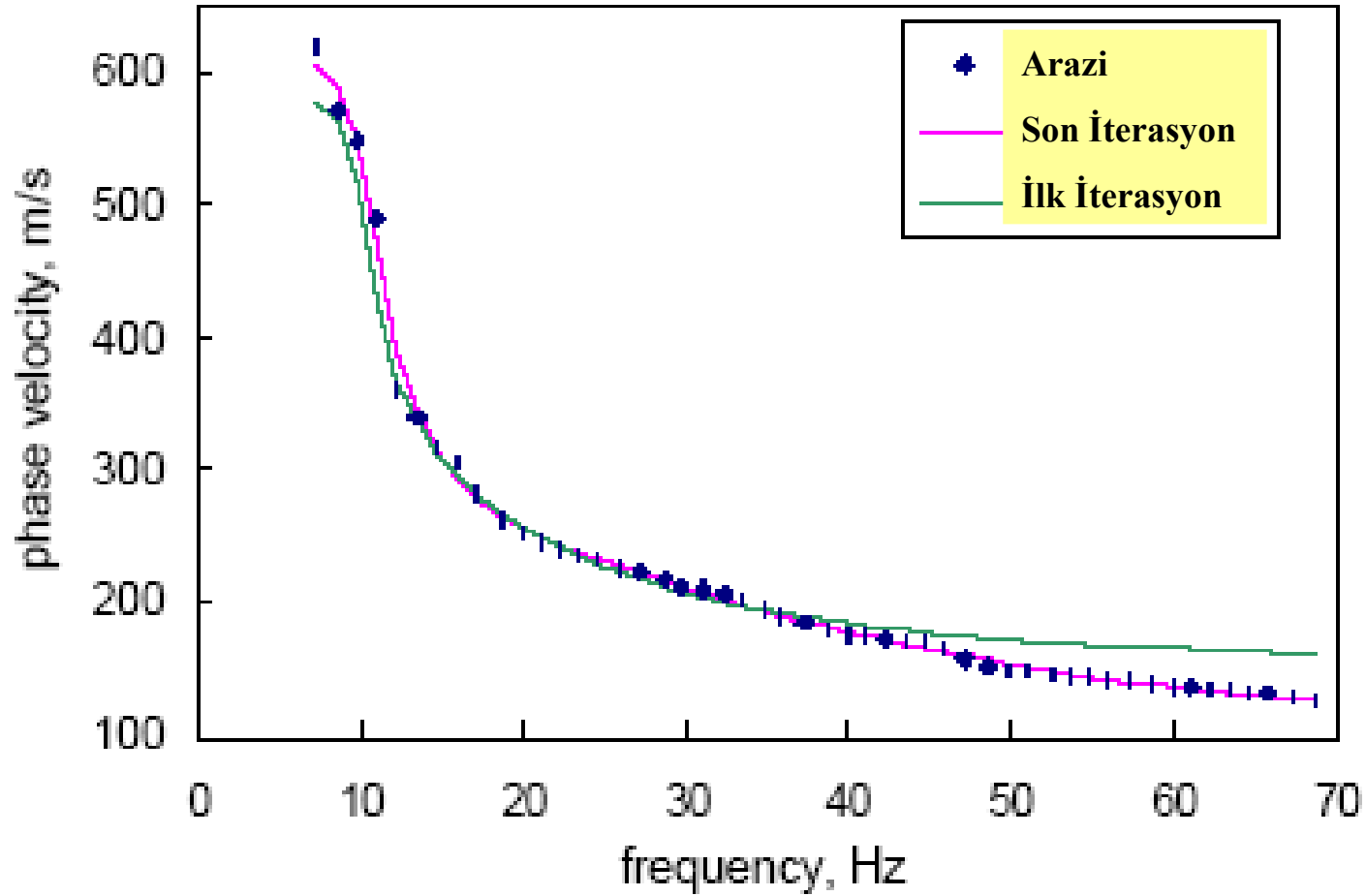
## Zemin Modeli

$H_1$	$\rho_1$	$G_1$	$v_1$
$H_2$	$\rho_2$	$G_2$	$v_2$
$H_3$	$\rho_3$	$G_3$	$v_3$
$H_\infty$	$\rho_\infty$	$G_\infty$	$v_\infty$

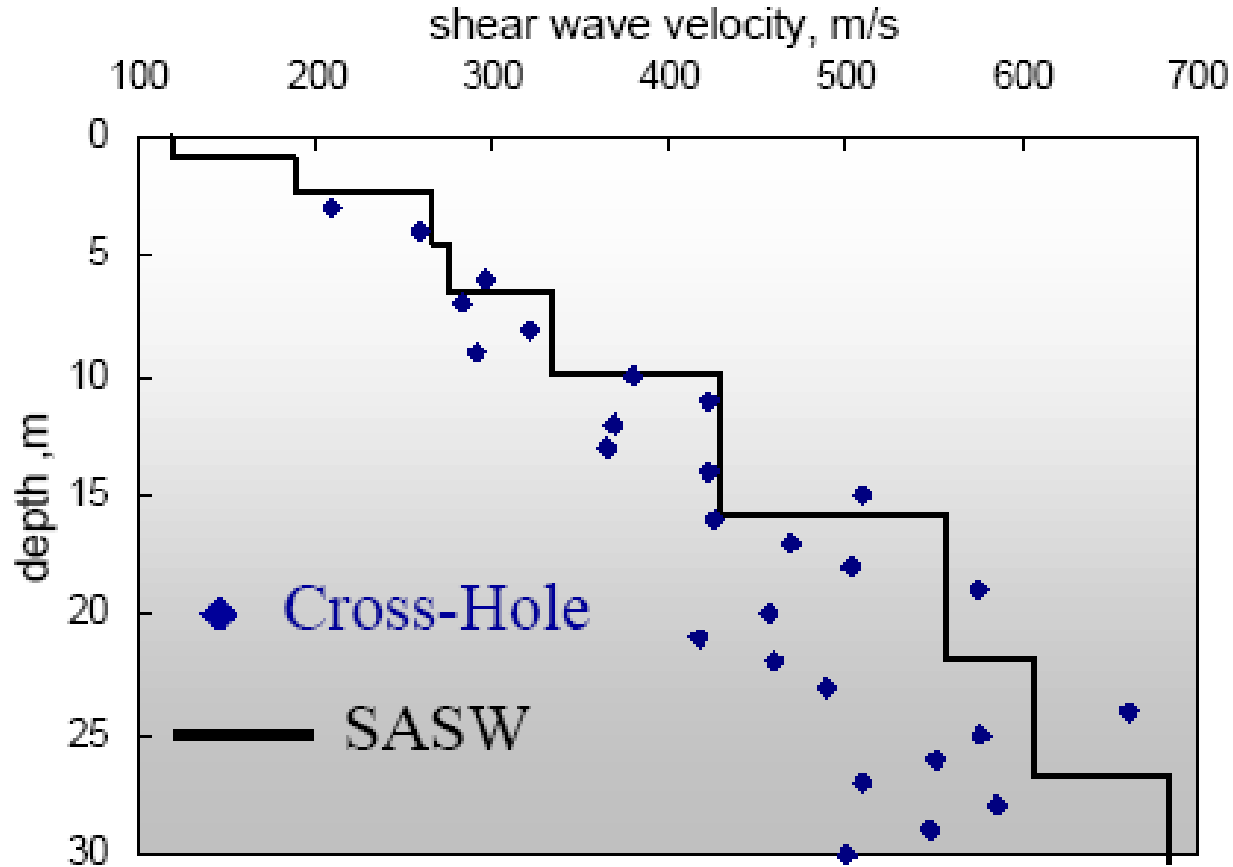
## Tersçözüm İşlemi



# Dispersiyon Eğri Çakıştırma



# Kayma Dalgası Hız Profili

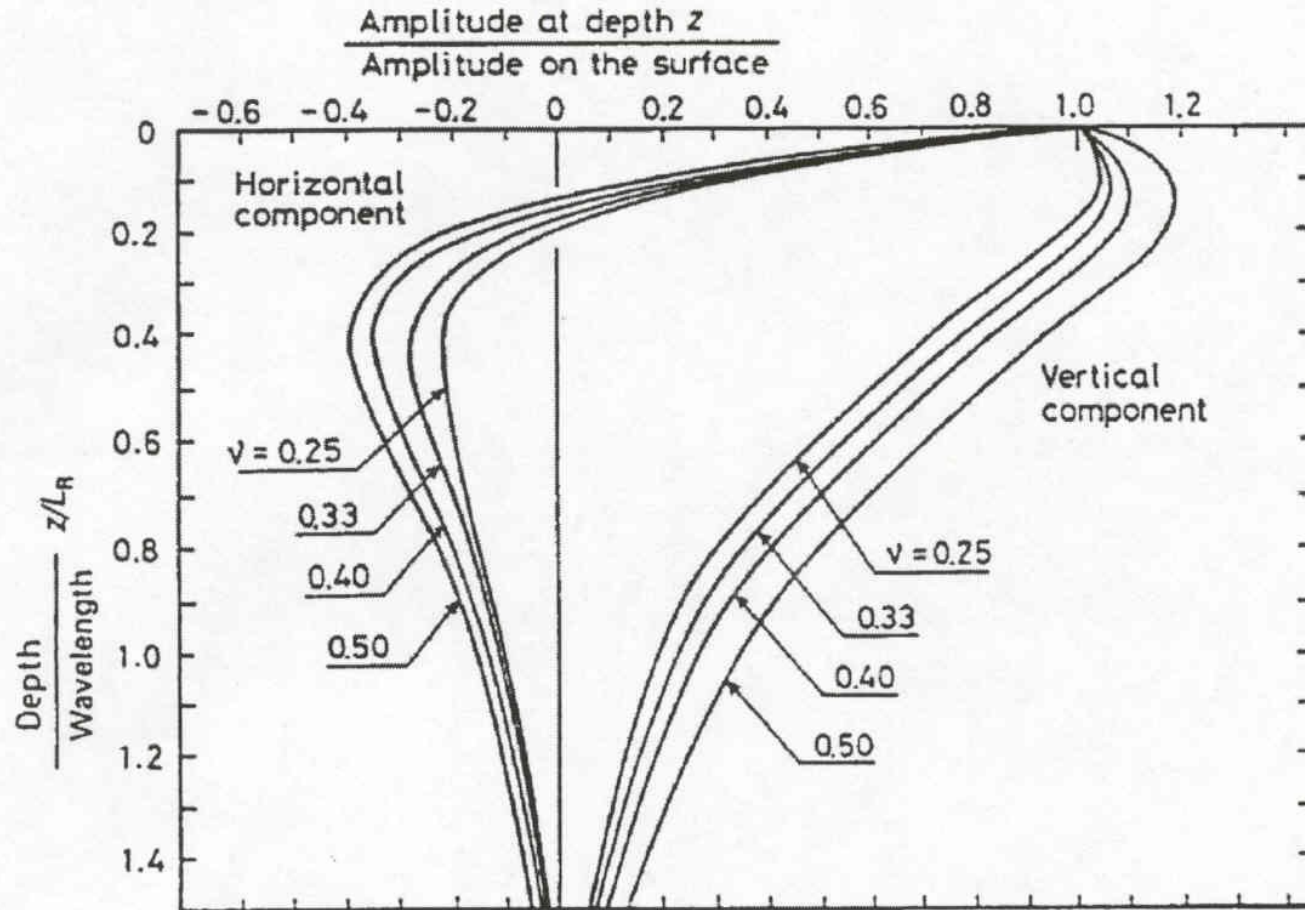


# İnceleme Derinliği

---

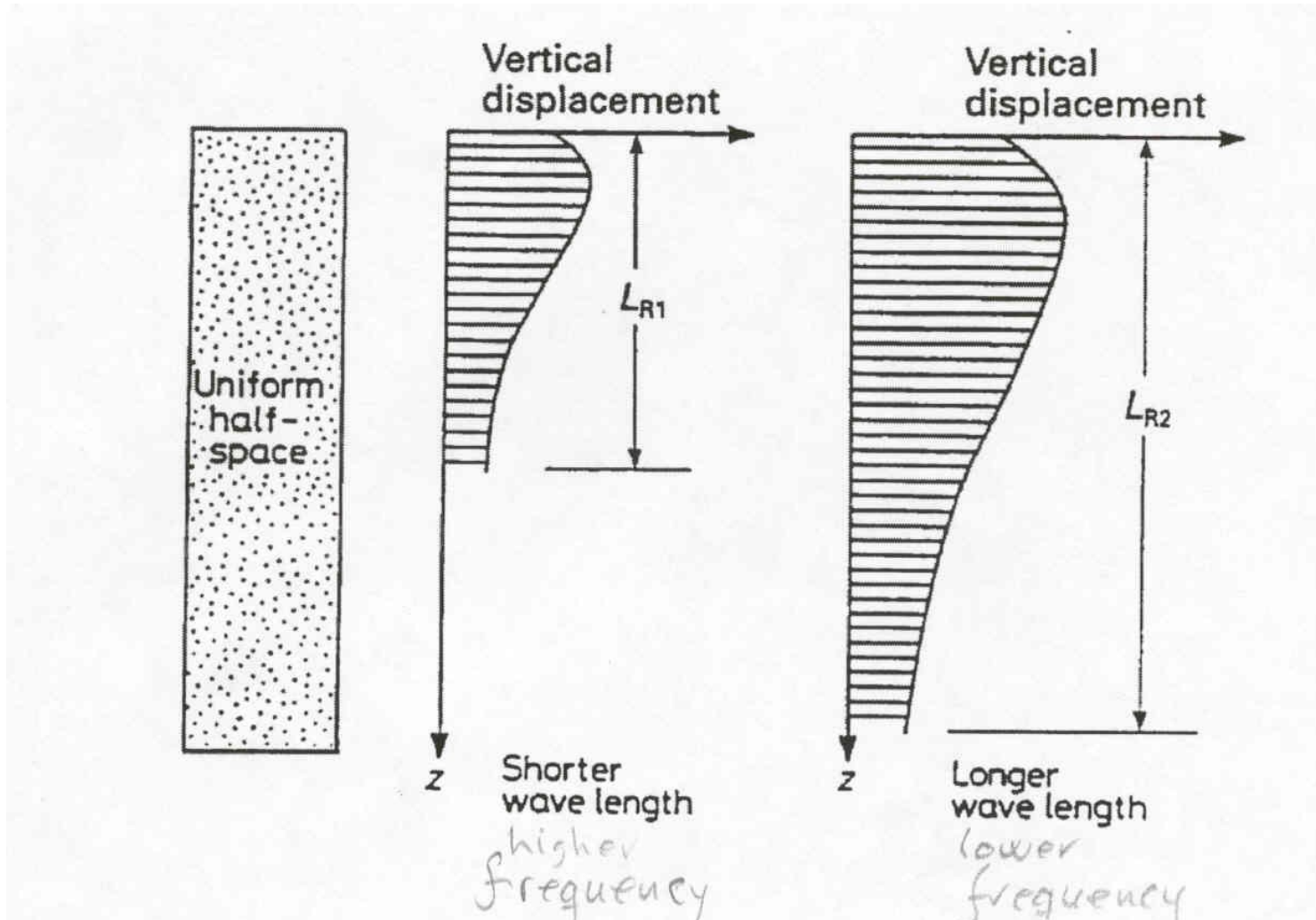
- Maksimum araştırma derinliği dispersiyon eğrisinden en uzun yzzey dalgası dalgaboyundan belirlenir.
  - Etkin Derinlik: Dalgaboyunun 1/2 ile 1/3 katıdır.
    - Ve bu derinlik genelde derinlikle  $V_s$  kestiriminde ilk elden kullanılan ham derinlik verisidir.
-

# Rayleigh Dalgasının Penetrasyonu





# Rayleigh Dalgasının Penetrasyonu



# Tersçözüm Kriteri

---

- İteratif (ardışık) tersçözüm işlemi kriterler sağlandığında sona erer. İki tür kriter vardır: maksimum iterasyon sayısı ve maksimum karekök hatası (RMSE). Bunun anlamı bu iki iriterin herikisi sağlandığında işlem sona erecektir.
-

# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Tarihçe

---

- Literatürde üç yöntem geniş ölçüde tanımlanmış ve kullanılagelmıştır. (yani, Matthews ve diğ., 1996 yada Stokoe ve diğ., 2004) : Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW yöntemi), Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW yöntemi) ve Sürekli Yüzey Dalgası Yöntemi (CSW)
-

# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları

---

## Analiz Aşamaları

Çok kanallı yüzey dalgaları analizi üç aşamadan oluşur:

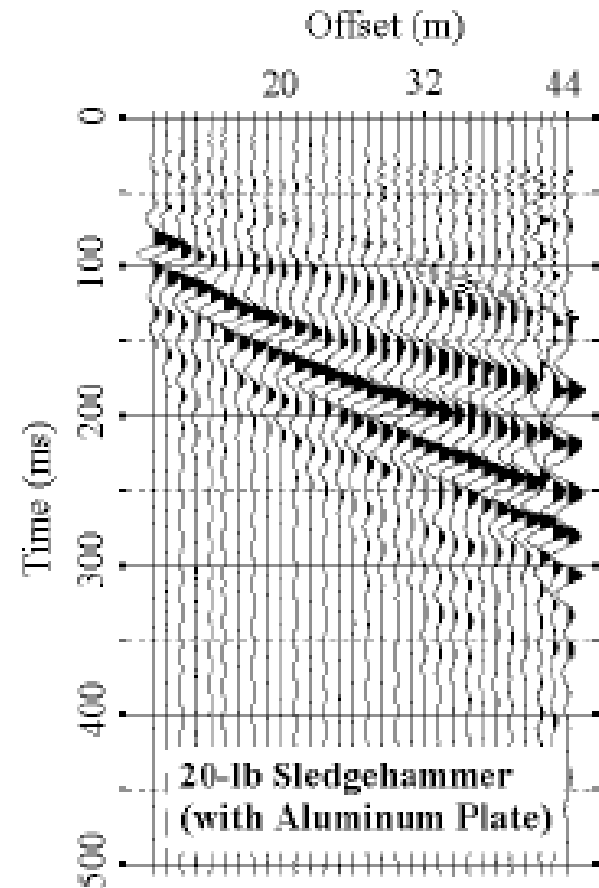
- 1) Çok Kanallı Veri Toplama
  - 2) Temel Mod için dispersiyon eğrilerinin oluşturulması
  - 3) Bir boyutlu Vs hız profillerini elde etmek için dispersiyon eğrilerinin tersçözümü
-

# Temel Varsayımlar

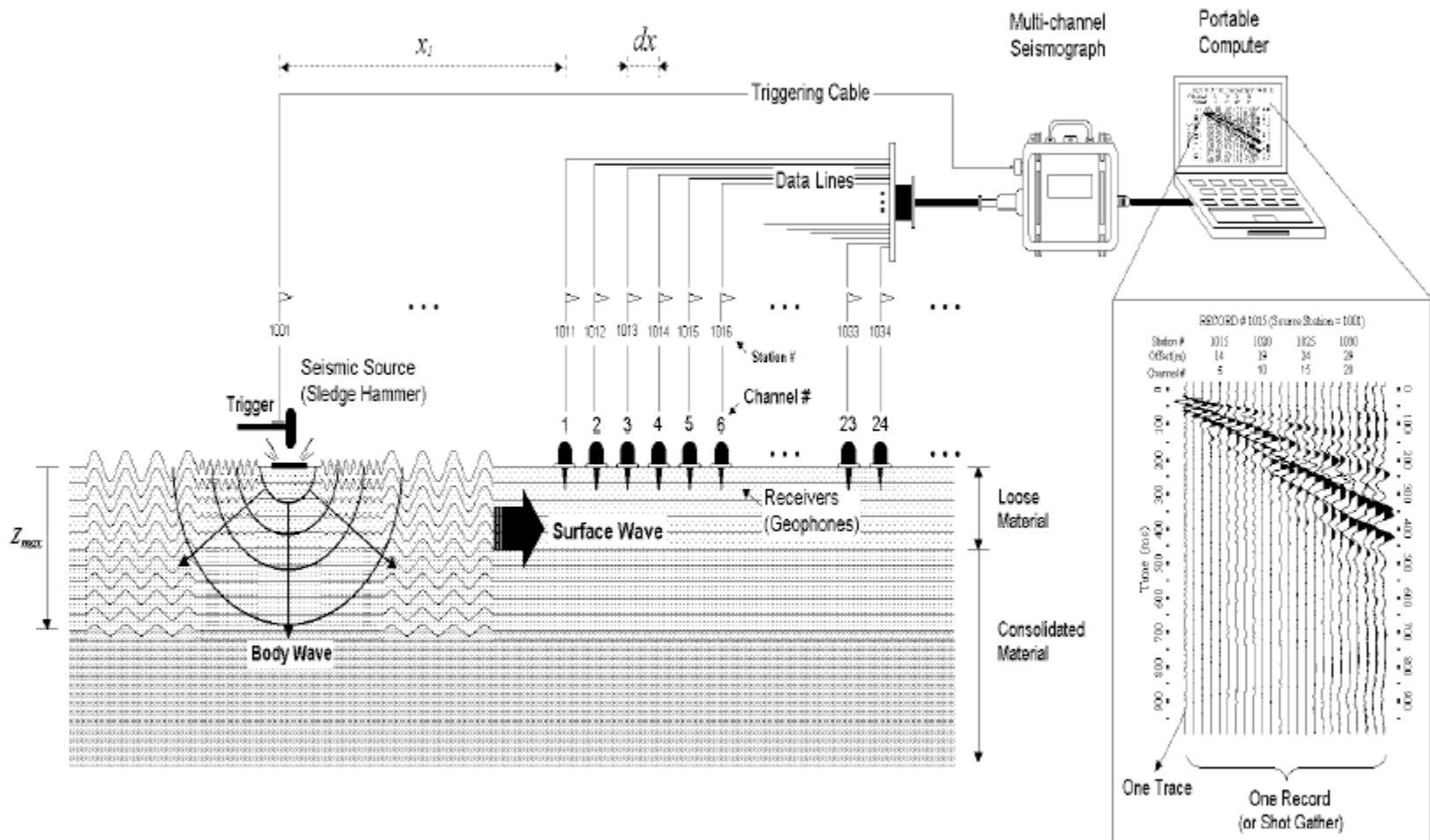
---

- Yatay olarak tabakalanmış Ortam.
  - Yalnızca Düzlem Yüzey Dalgaları (Uzak alan: cisim dalgaları katkısı ihmal edilir).
  - Temel mod dominantır/baskındır.
-

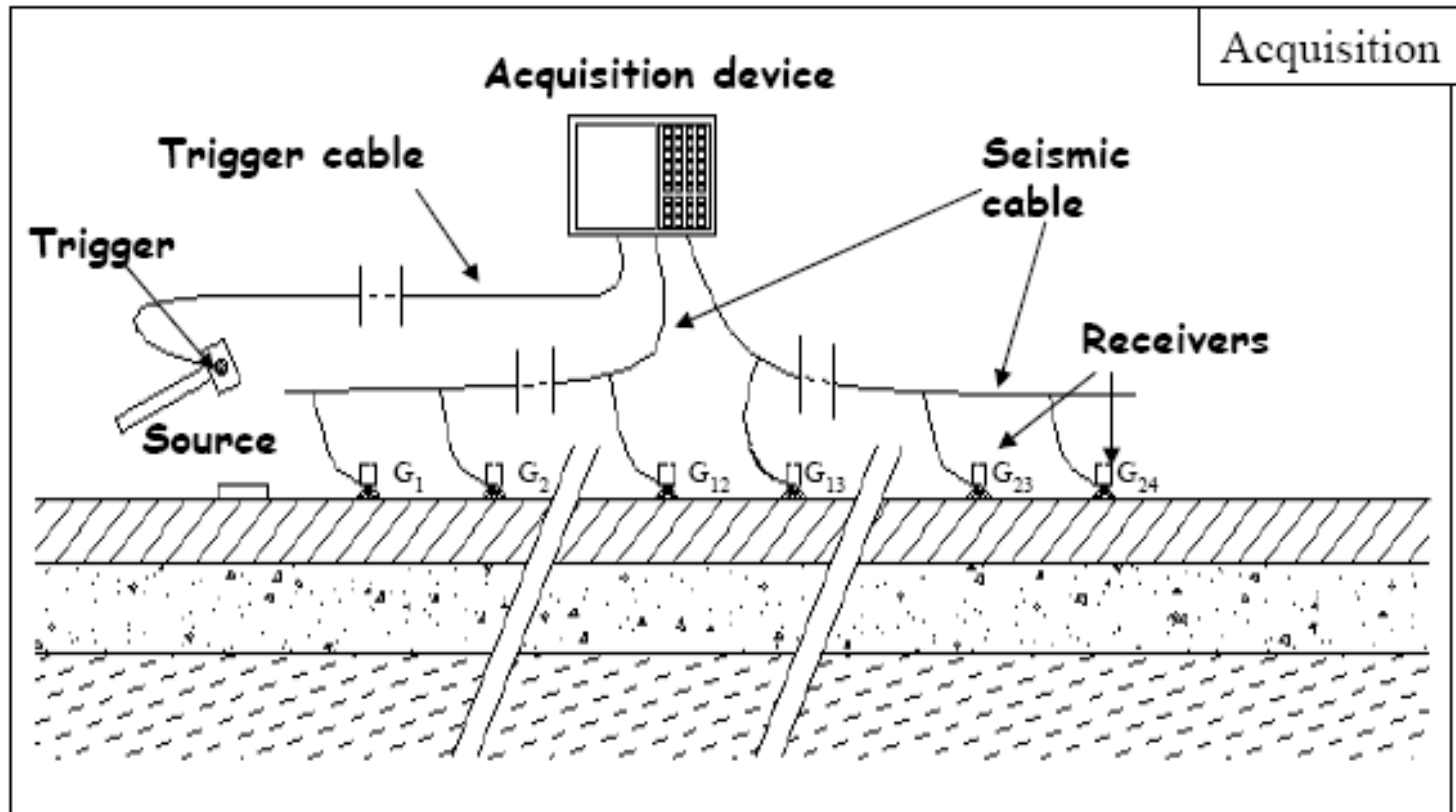
# 1. Veri Toplama



**Zaman-Mekan**

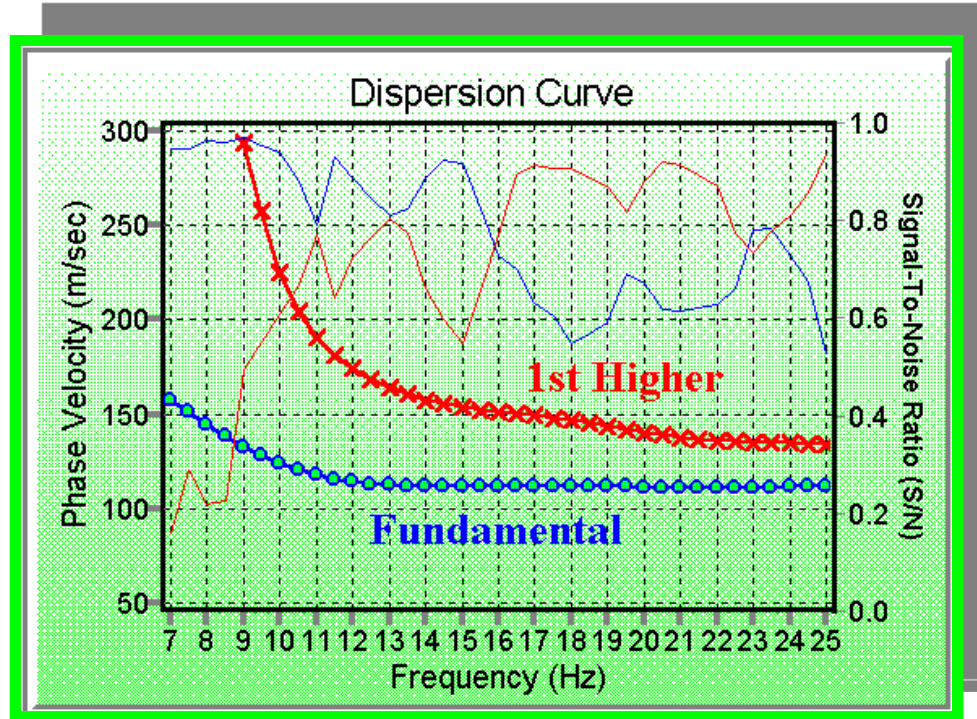


# Veri Toplama

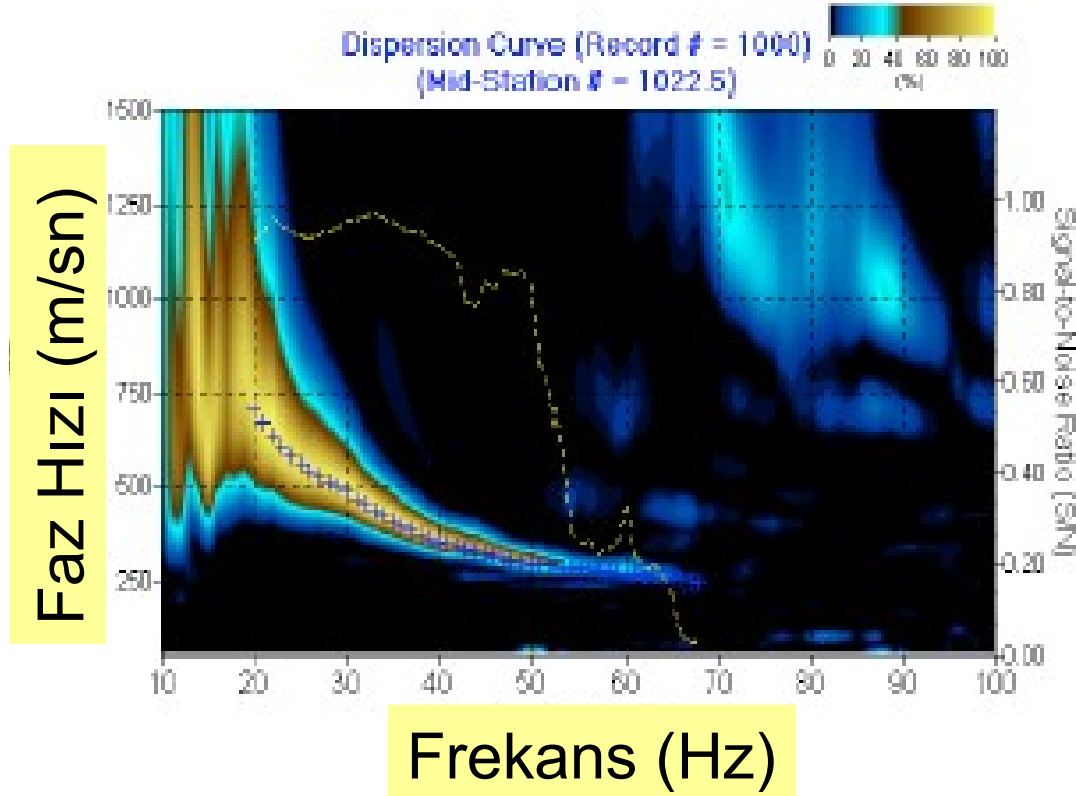




## 2. Dispersiyon Eğrilerinin Oluşturulması

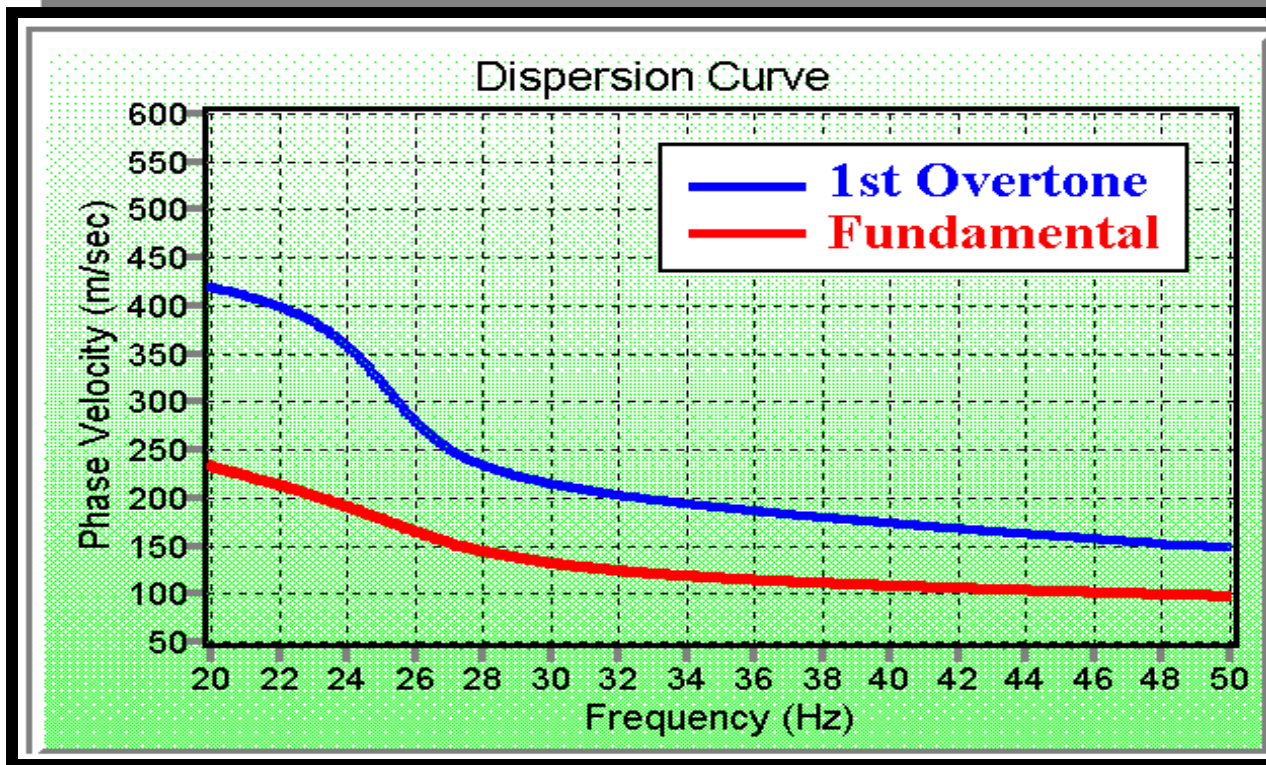


## 2. Dispersiyon Eğrilerinin Oluşturulması

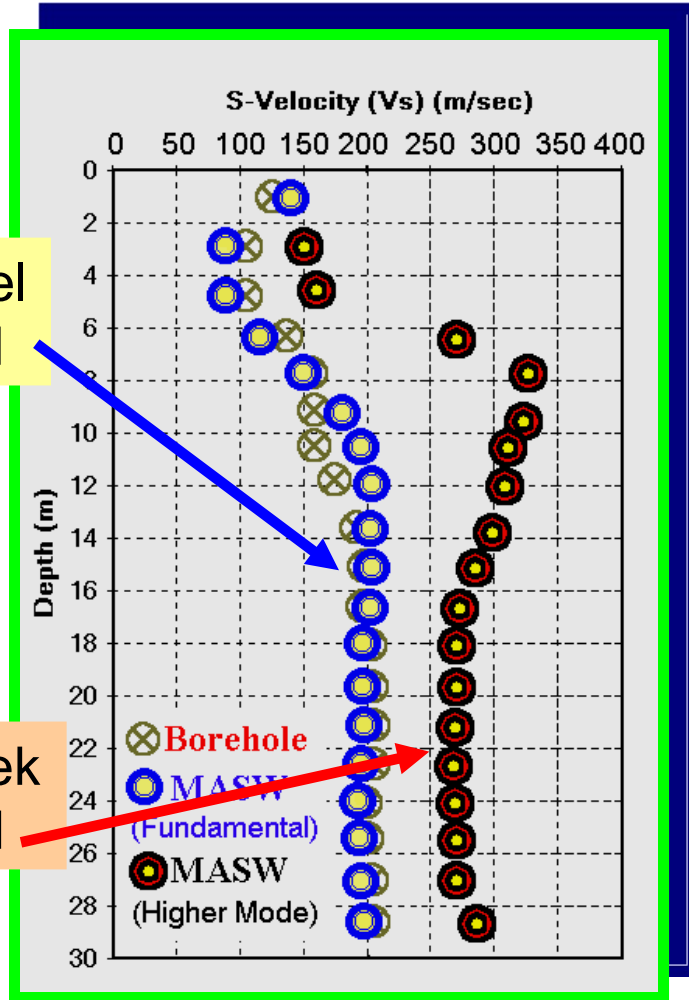


Frekans – Faz Hızı Eğrisi

# Dispersiyon Eğrisi



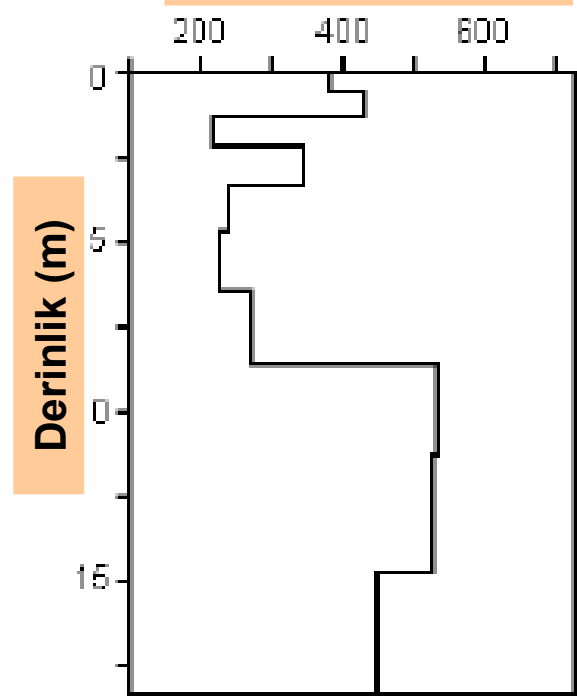
# 3. Ters Çözüm İşlemi



Temel Mod

Yüksek Mod

S Hızı (m/sn)



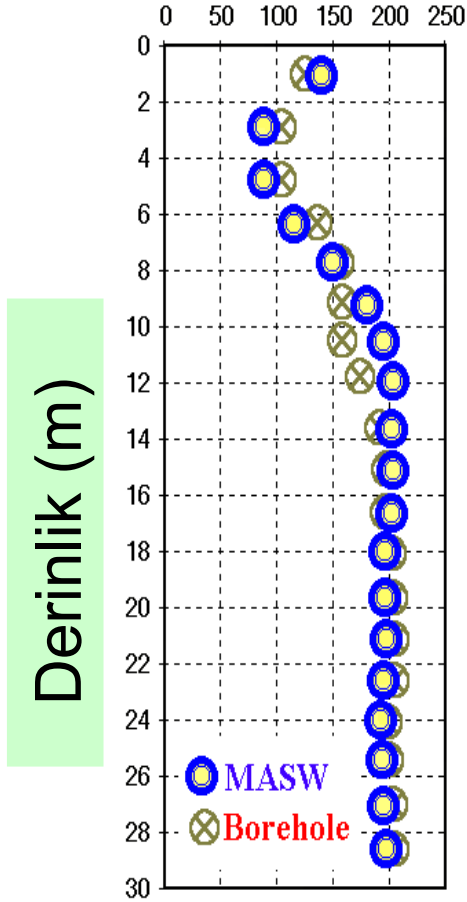
Derinlik –  $V_s$  ilişkisi

# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Kullanım Amaçları



# Kullanım Amaçları

S Dalgası Hızı (m/s)

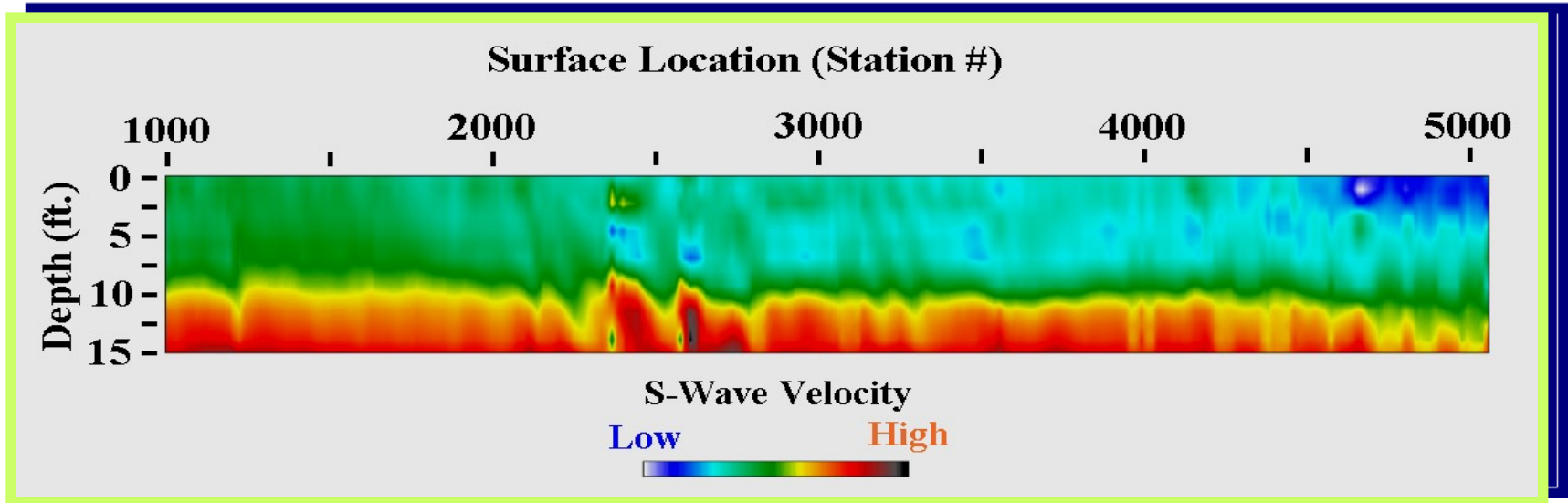


1-Boyutlu S-Hızı Profili



# Kullanım Amaçları

## 2-Boyutlu S-Hızı Haritası



# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları

---

## Arazi Prosedürü

- Sismik Kaynak
  - Alıcılar
  - Sismograf
  - Offsetler (Kaynak Ofseti ve Alıcı Ofseti Aralığı)
  - Saha Notları
-



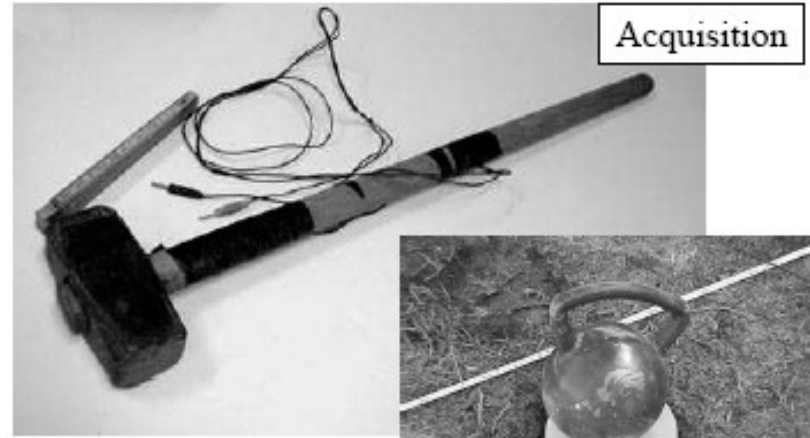
# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları

## Sismik Kaynaklar

---

- Balyoz
  - Yüzeye yakın Malzeme
  - Daha Ağır, Daha Derin
    - Güçlü Kaynak: Düşük Frekans
    - Zayıf Kaynak: Yüksek Frekans
  - İnceleme Derinliği (Z)
    - $Z < 5 \text{ m}$  ( $< 2 \text{ Kg}$ )
    - $Z < 10 \text{ m}$  ( $< 5 \text{ Kg}$ )
    - $Z > 10 \text{ m}$  ( $10 \text{ Kg}$ )
-

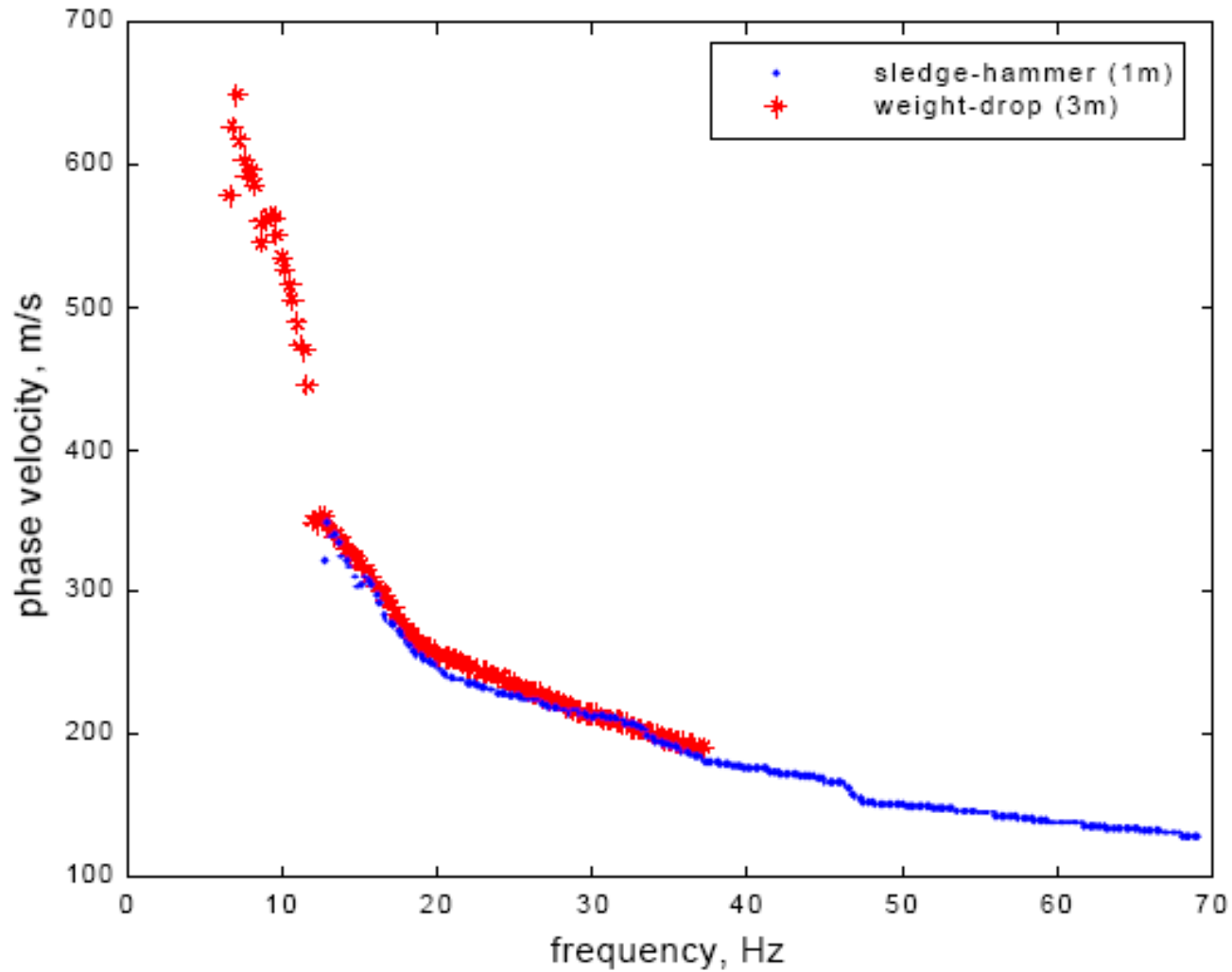
# Sismik Kaynaklar



Acquisition



## Farklı Kaynaklar ve Etkileri

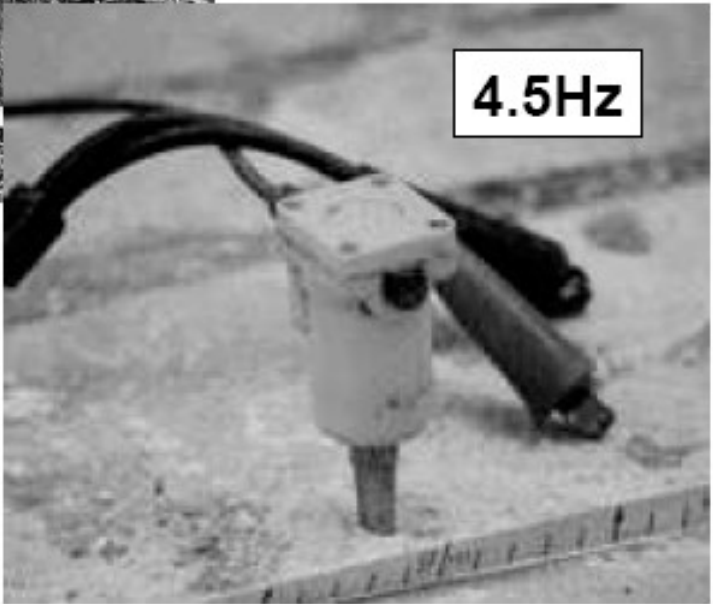
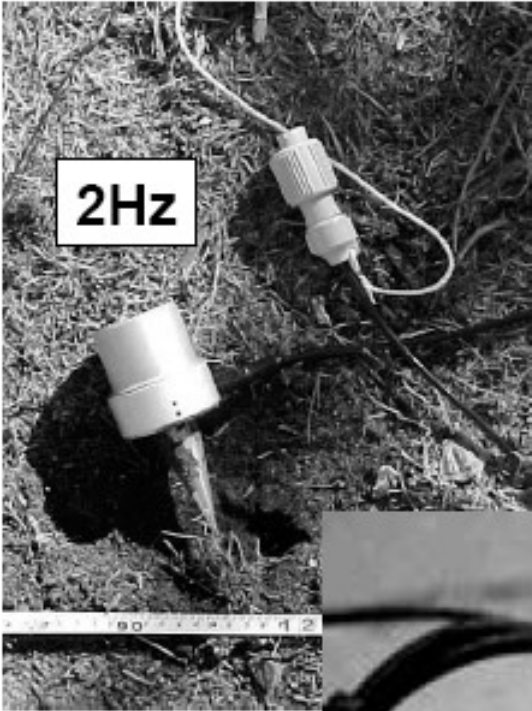
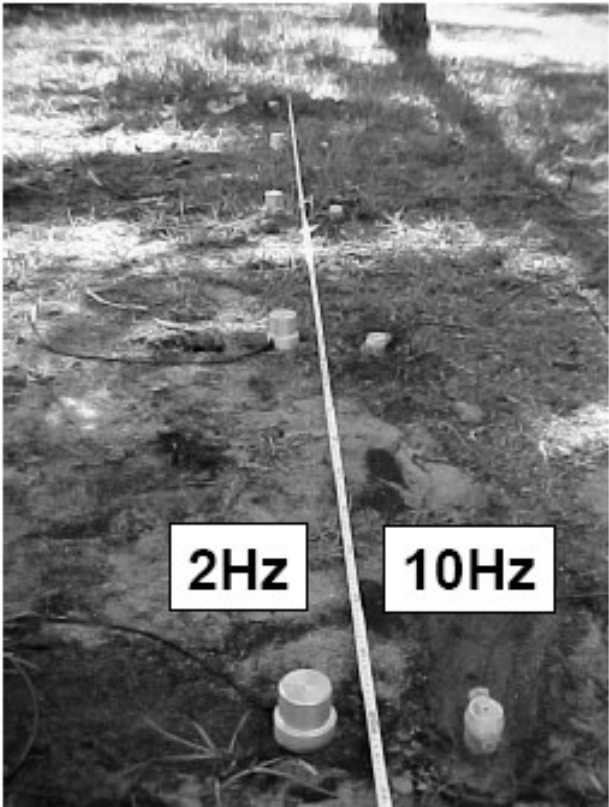


# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Sismik Alıcılar

---

- Düşük Frekanslı Jeofonlar
  - Yüzeye yakın malzeme
  - Düşük Frenas, Daha Derin Bilgi
  - İnceleme Derinliği (Z)
    - $Z < 5$  m ( 4.5 Hz, 10 Hz, 20 Hz)
    - $Z < 10$  m (4.5 Hz, 10 Hz)
    - $Z > 10$  m (4.5 Hz)
-

# Jeofonlar

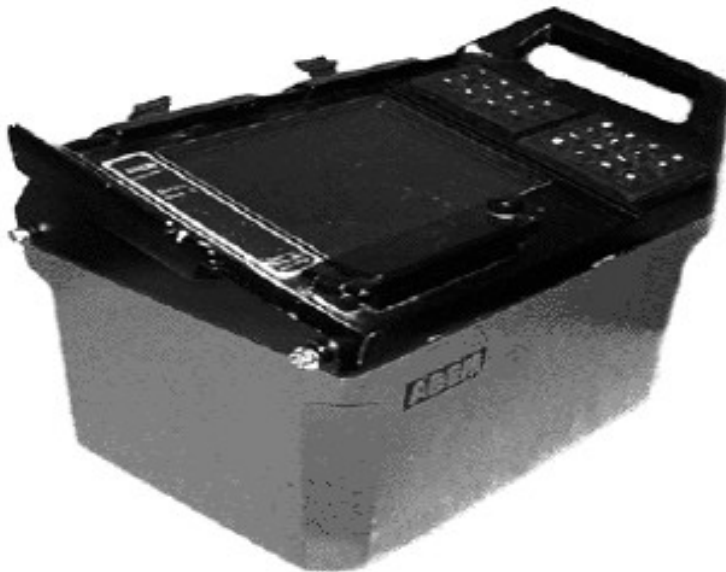


# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Sismograf

---

- Minimum 12 Kanal
-

# Sismograflar



# Çok Kanallı Yüzey Dalgaları

---

## Ofsetler

- Kaynak Ofseti
    - İnceleme derinliğinin yaklaşık  $\frac{1}{2}$  si
  - Alıcı Ofseti
    - Zeminler (0.5 m)
    - Kaya Ortamlar (1 m)
  - Gürültü Analizi
-



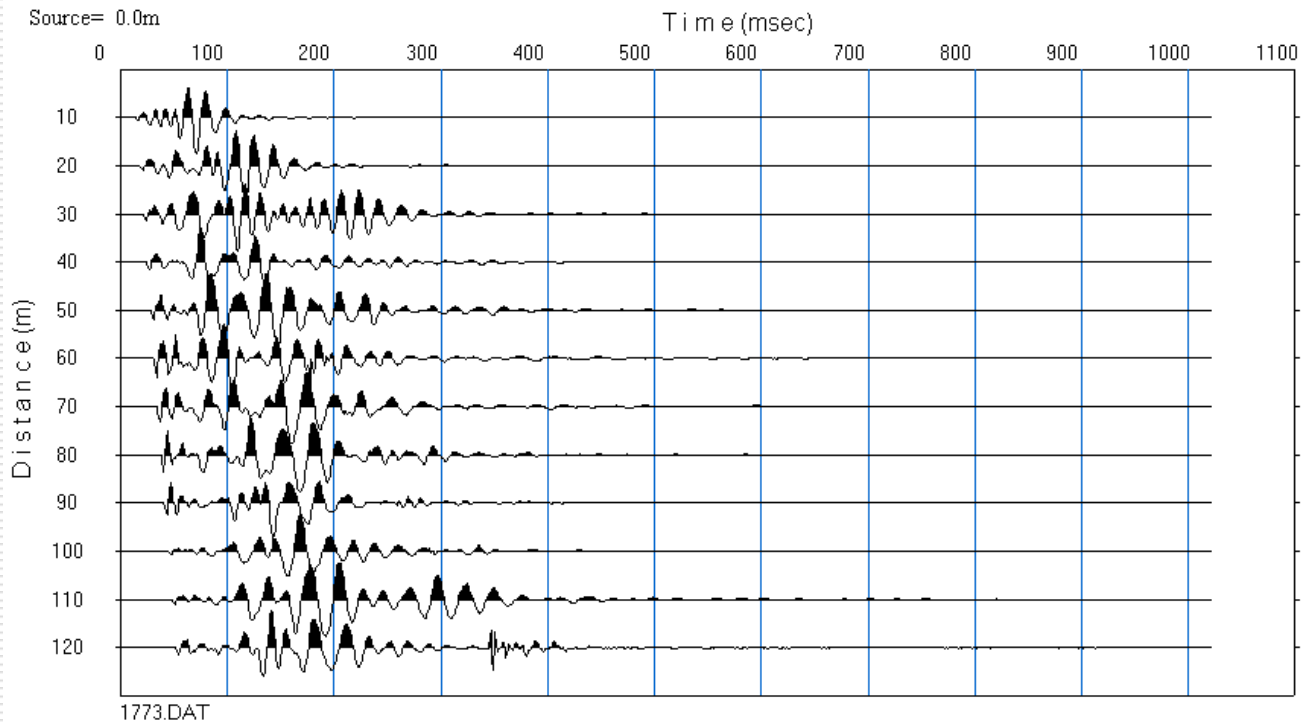
---

# Uygulama Örnekleri

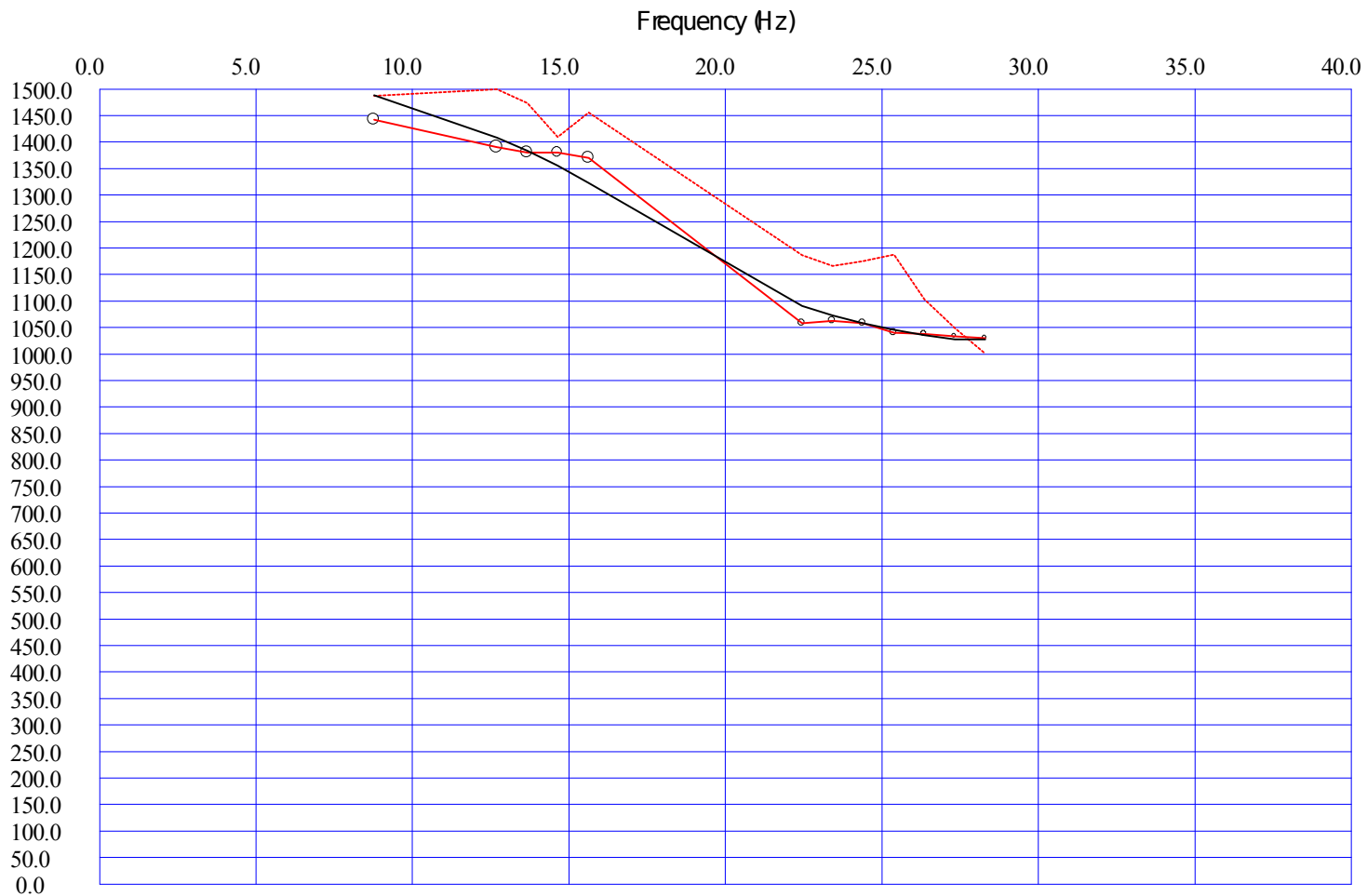
---

**Proje Adı :Kahramanmaraş**  
**Tarih : 16.08.2006** **Profil No : 1**  
**Ölçü Tipi : Aktif Kaynak Lineer Jeofon Aralığı** **:**  
**10.0 m.**

---



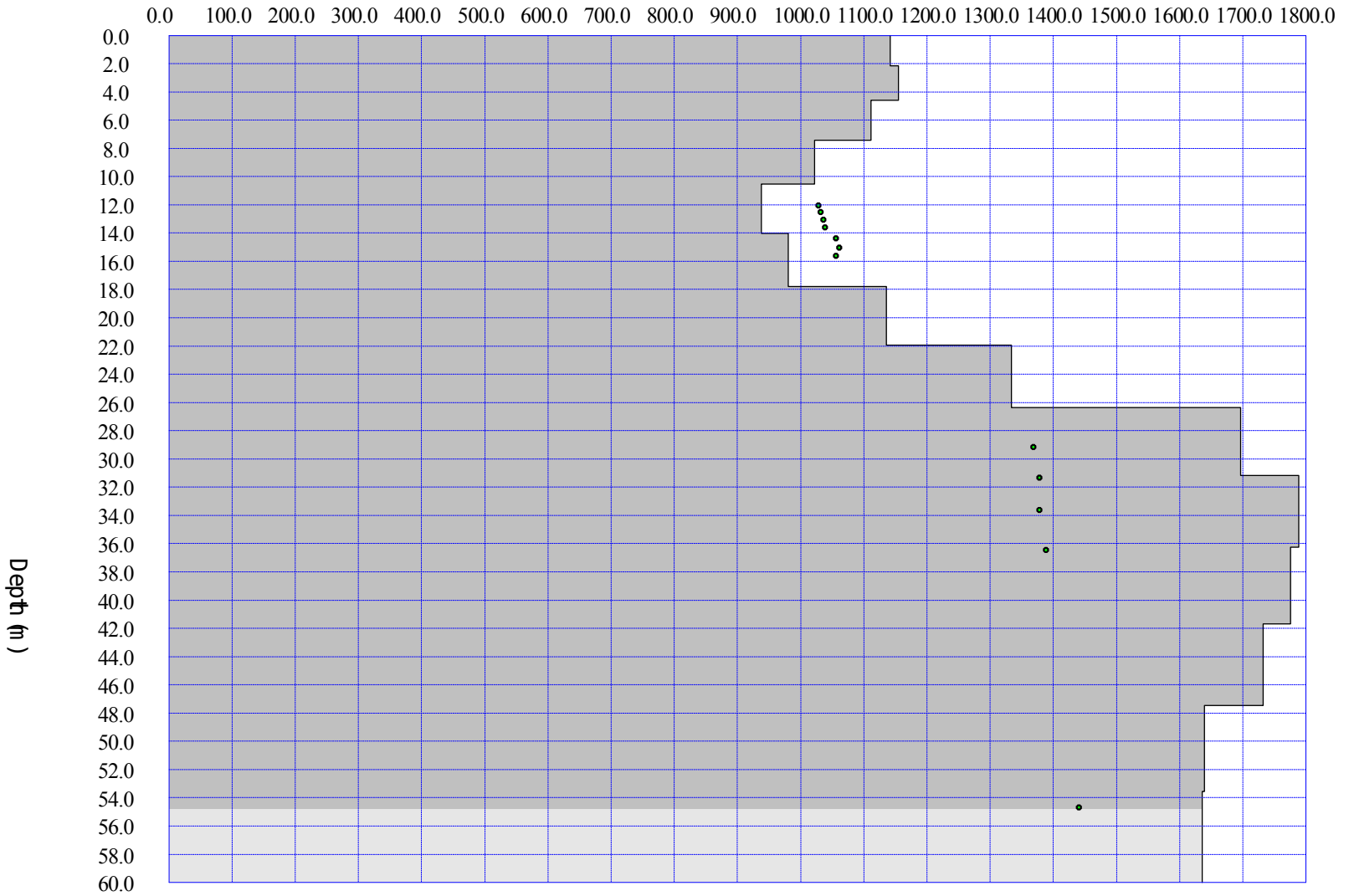
Phase velocity (m/s)



Dispersion curve :1773 DAT



### S-velocity (m/s)



S-velocity model: 1773 DAT

Average Vs 30m = 1142.2 m/s

Proje Adı

:İstanbul-Pendik-Dolayoba

: 21.07.2006

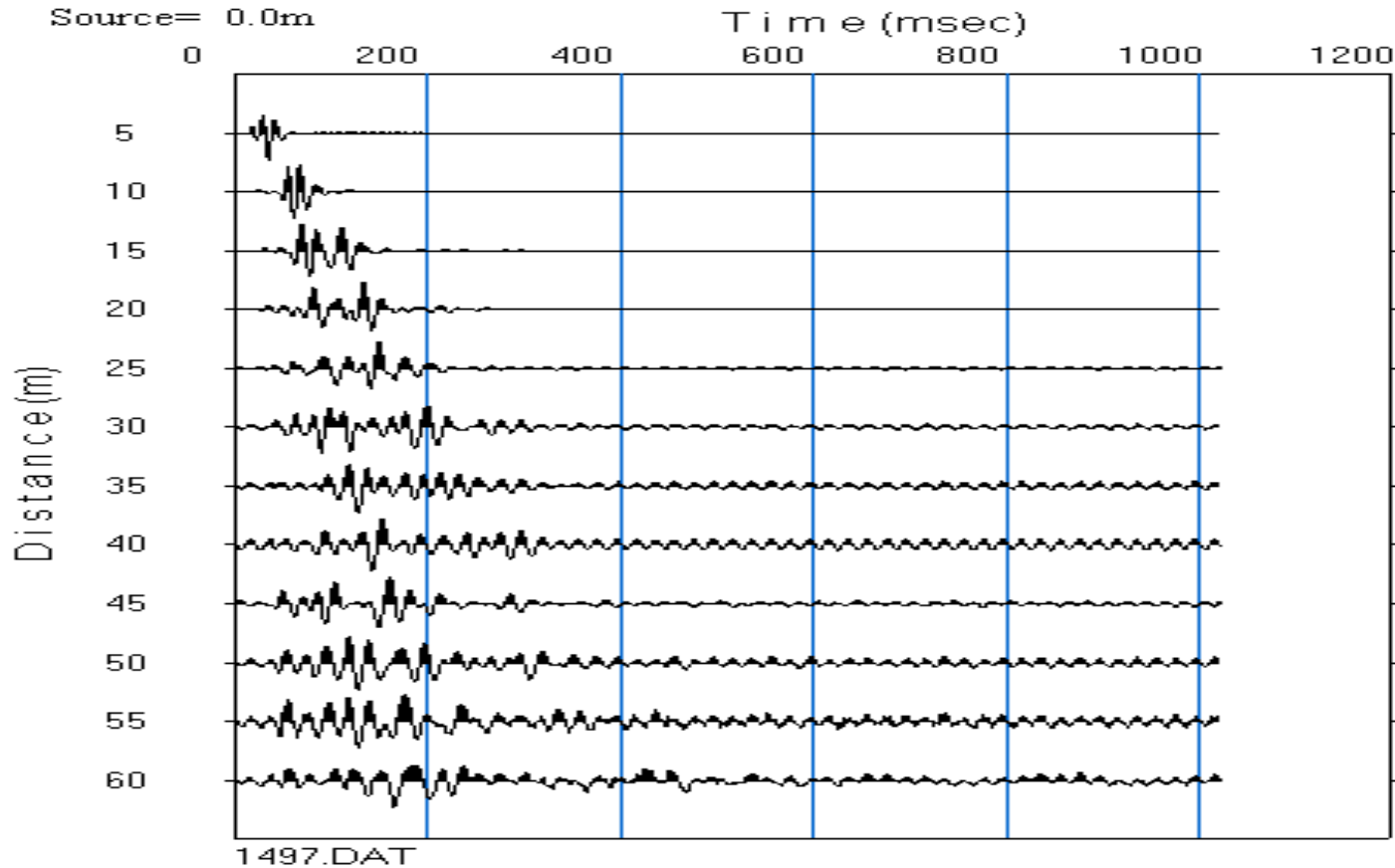
Profil No : 2

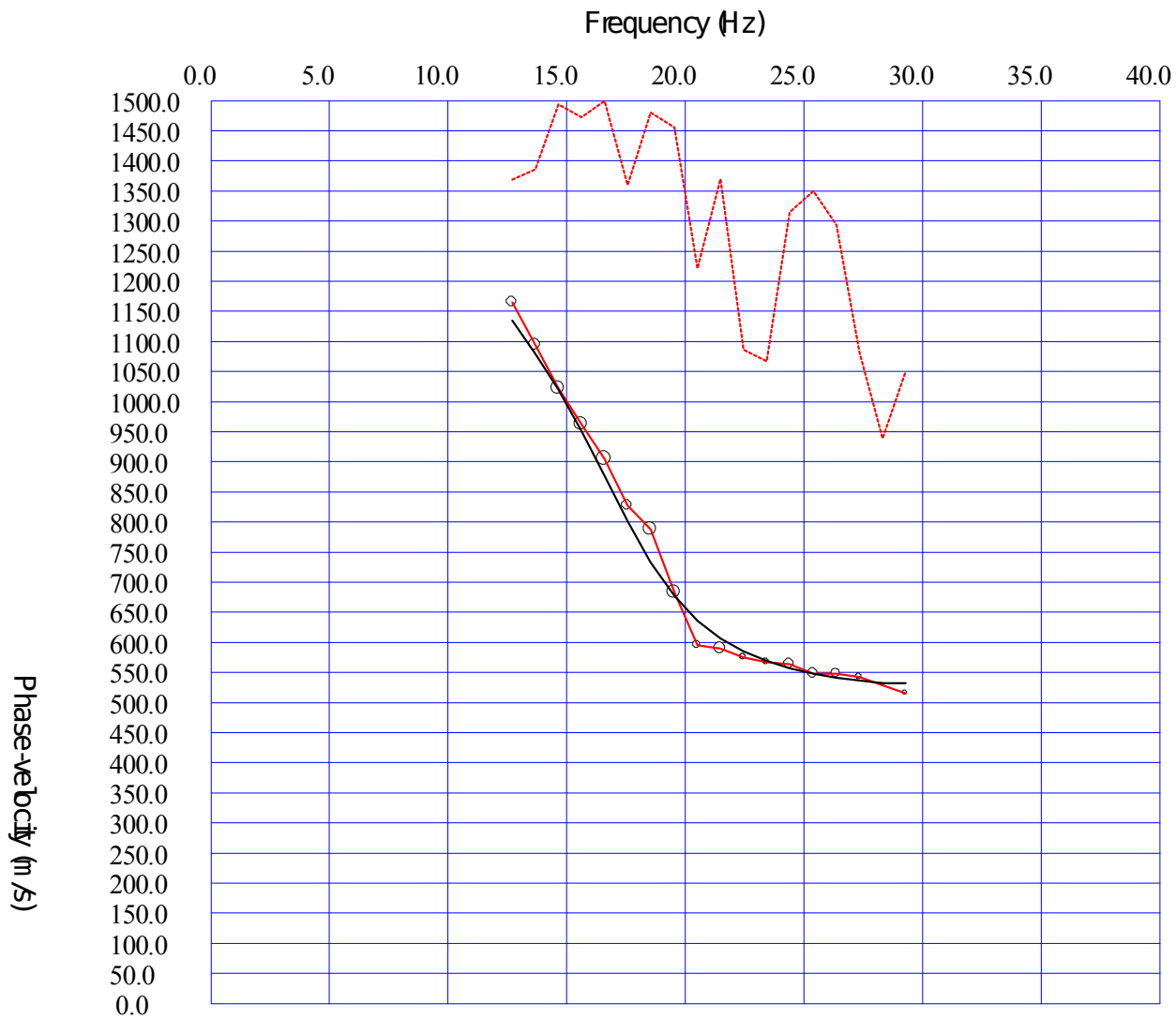
Ölçü Tipi

: Aktif Kaynak Lineer

Jeofon Aralığı

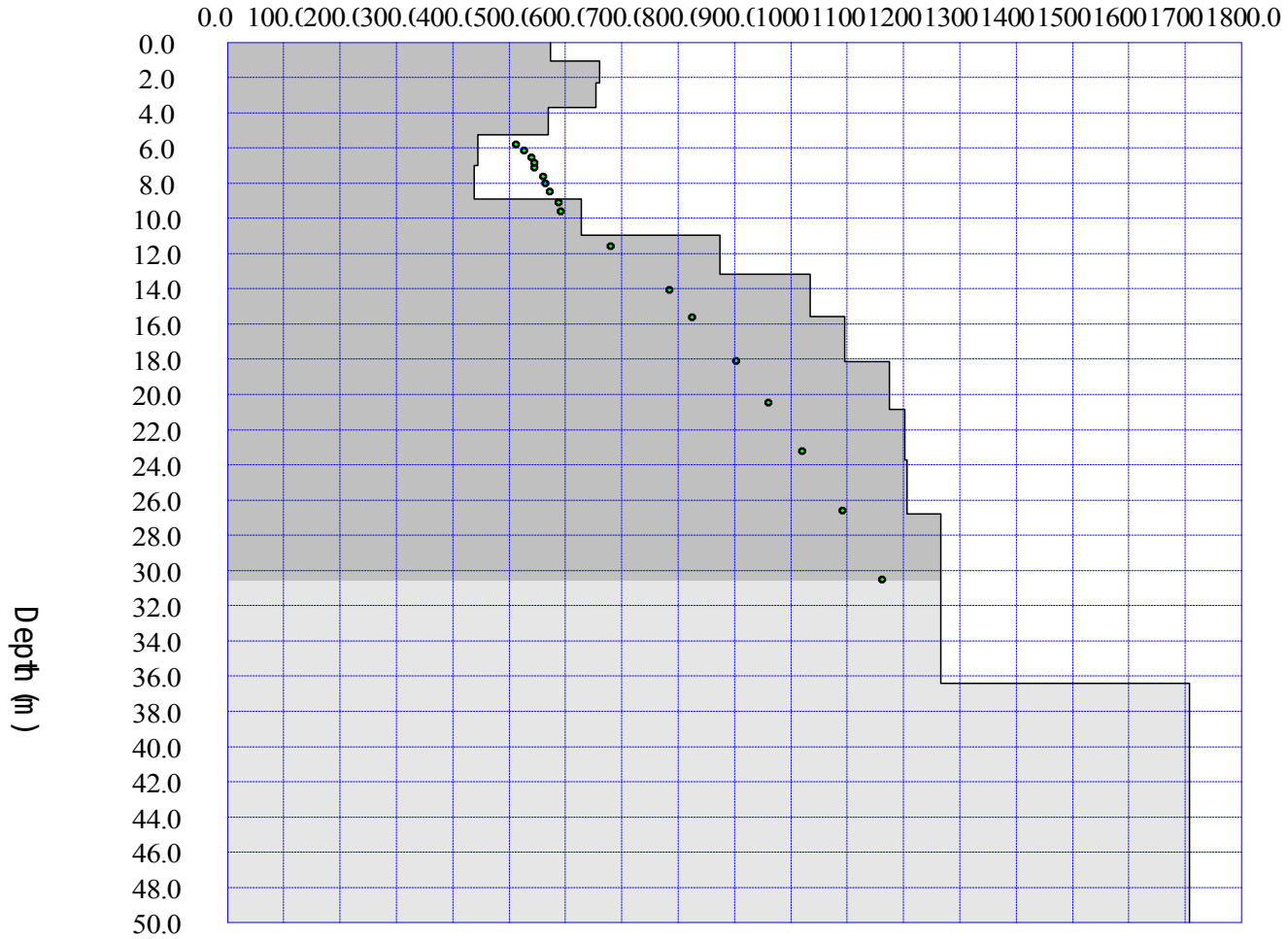
: 5.0 m.





Dispersion curve :1497 DAT

### S-velocity (m/s)



S-velocity model: 1497 DAT  
Average Vs 30m = 574.2 m/s

**Proje Adı**

**: İzmit-Bekirpaşa**

**Tarih**

**: 06.06.2006**

**Ölçü Tipi**

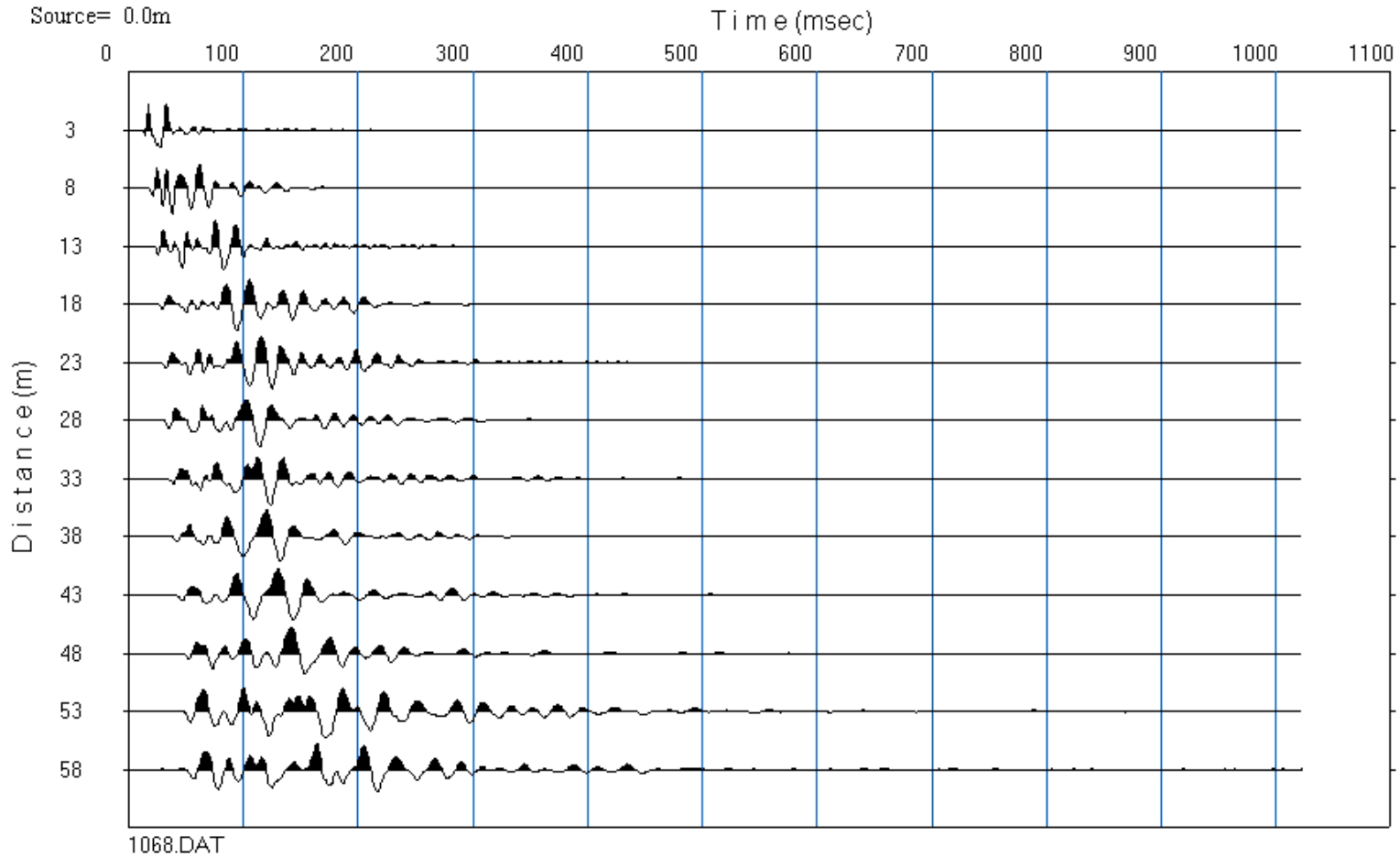
**: Aktif Kaynak Lineer**

**Profil No**

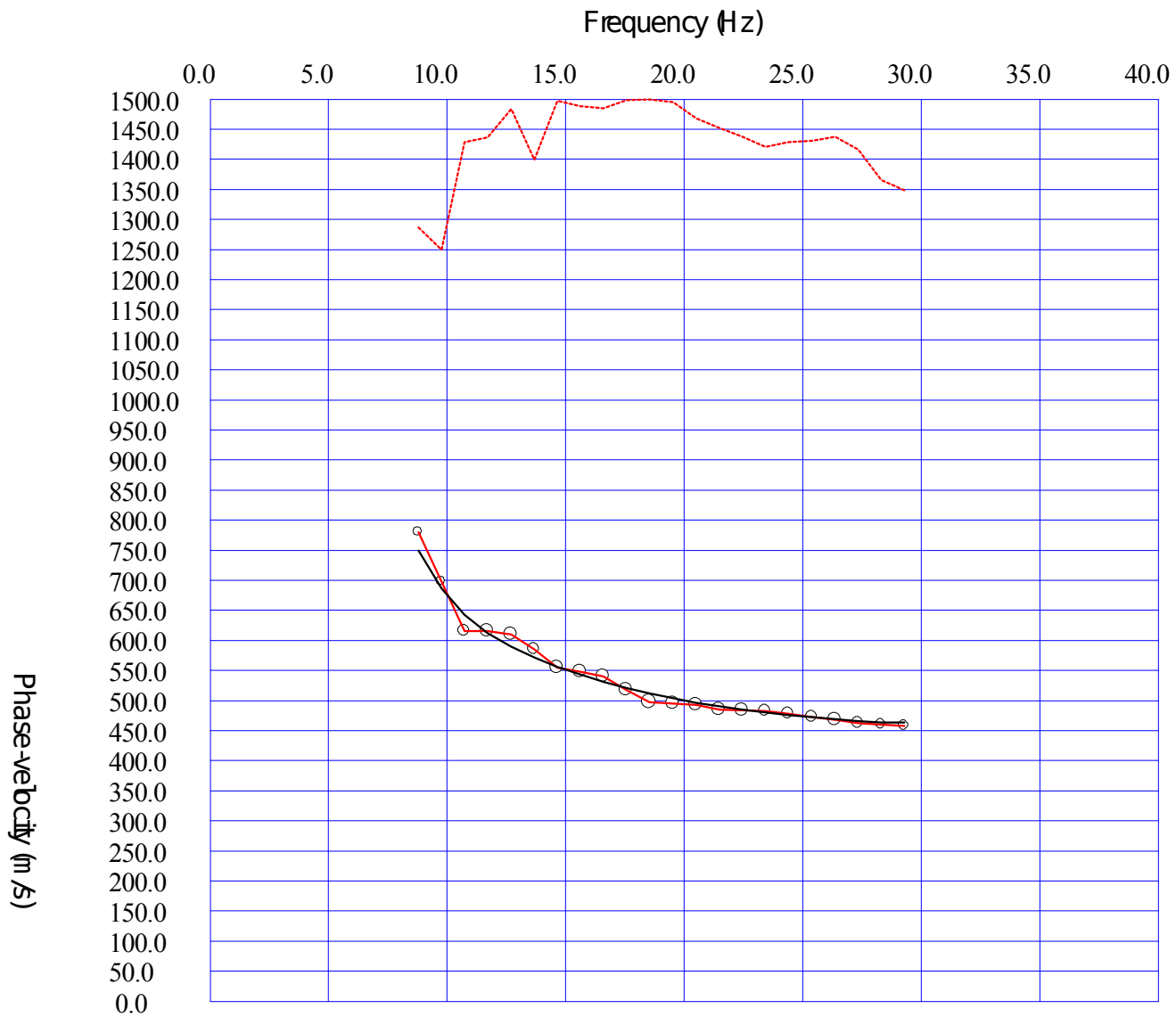
**: 25**

**Jeofon Aralığı**

**: 5.0 m.**

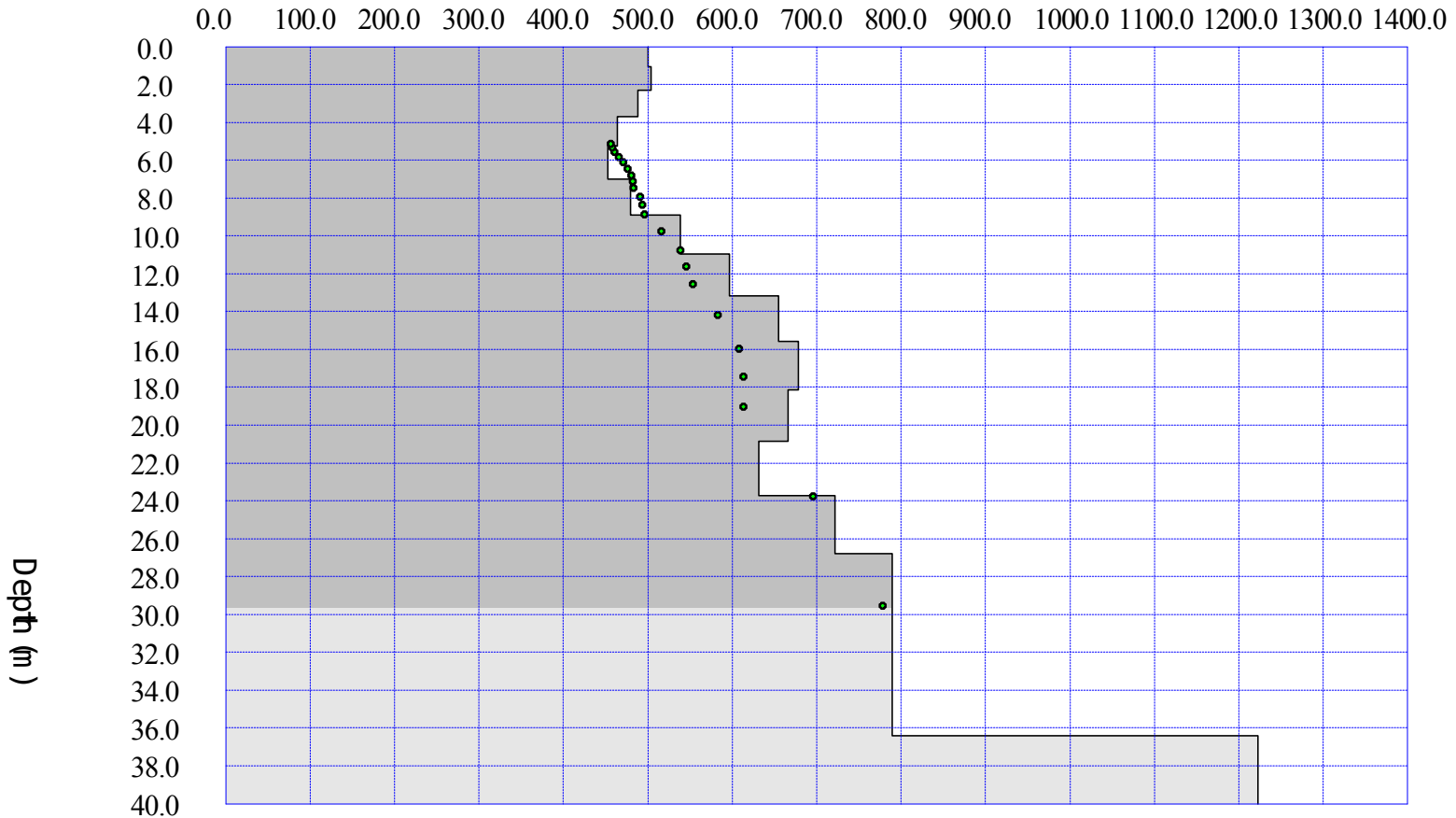






Dispersion curve :1068 DAT

### S-velocity (m/s)



S-velocity model: 1068 DAT

Average Vs 30m = 500.7 m/s

**Proje Adı**

**:İstanbul-B.Çekmece-Kırac-Karaçalı**

**Tarih**

**: 04.08.2006**

**Profil No**

**: 2**

**Ölçü Tipi**

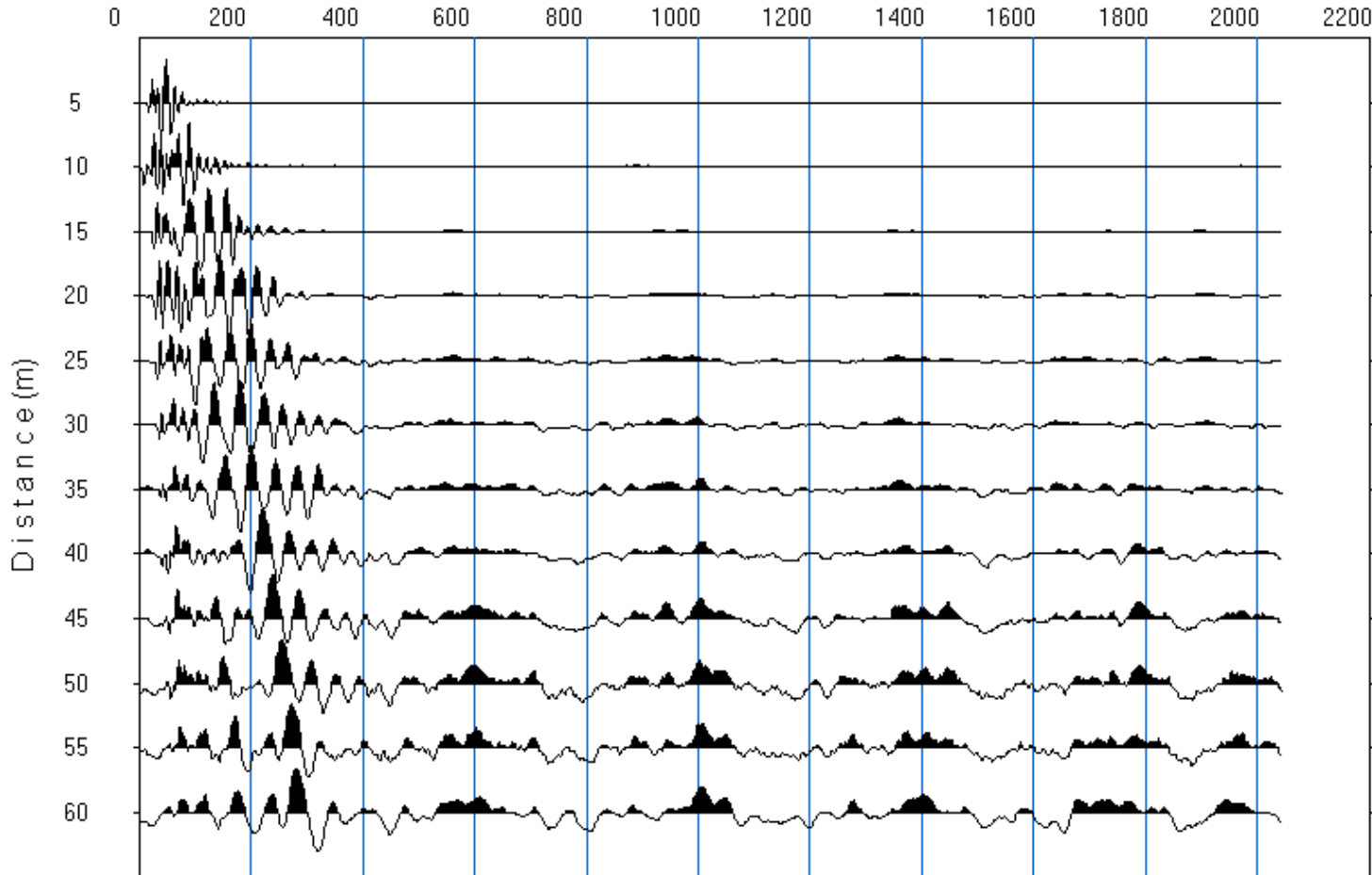
**: Aktif Kaynak Lineer**

**Jeofon Aralığı**

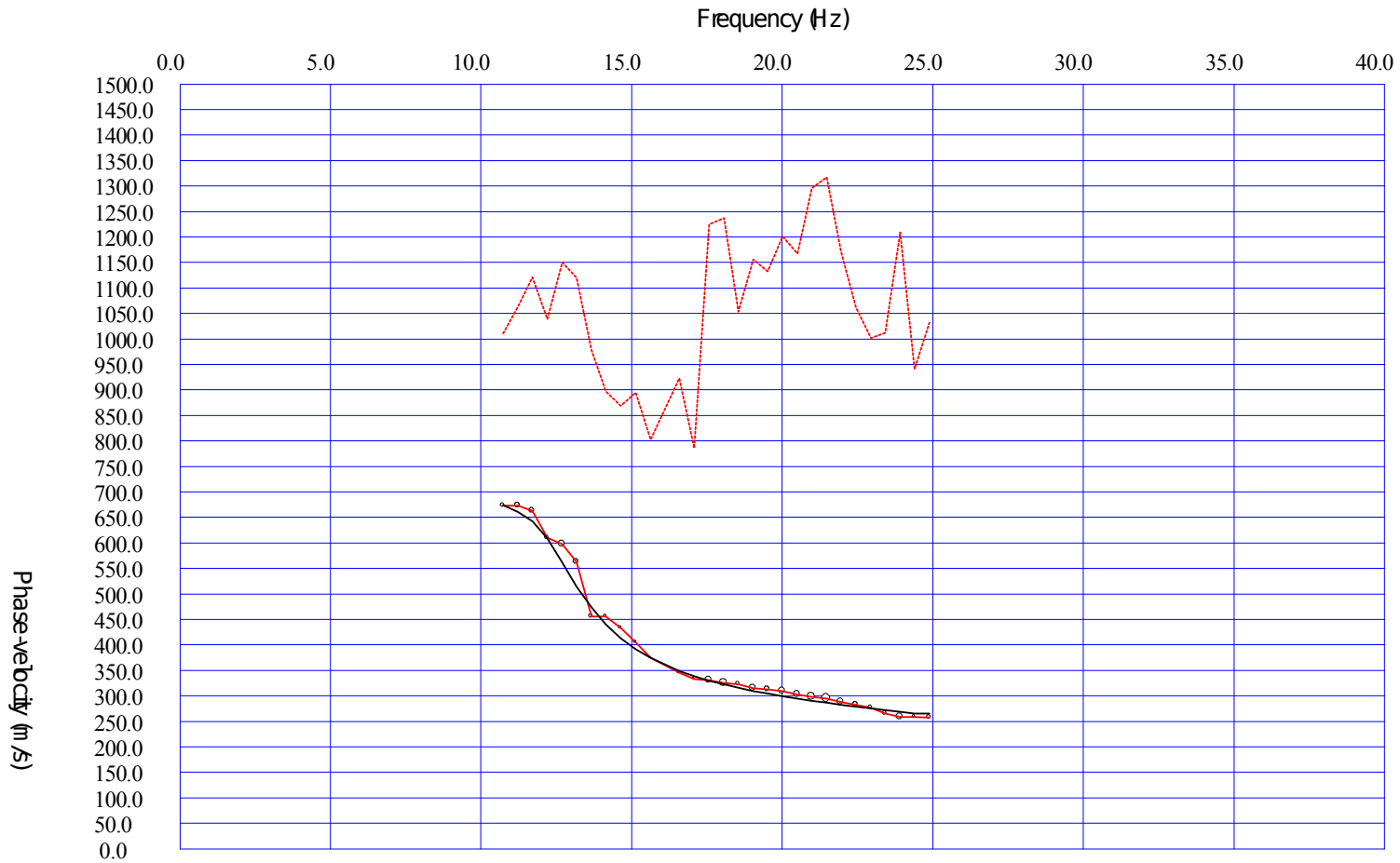
**: 5.0 m.**

Source= 0.0m

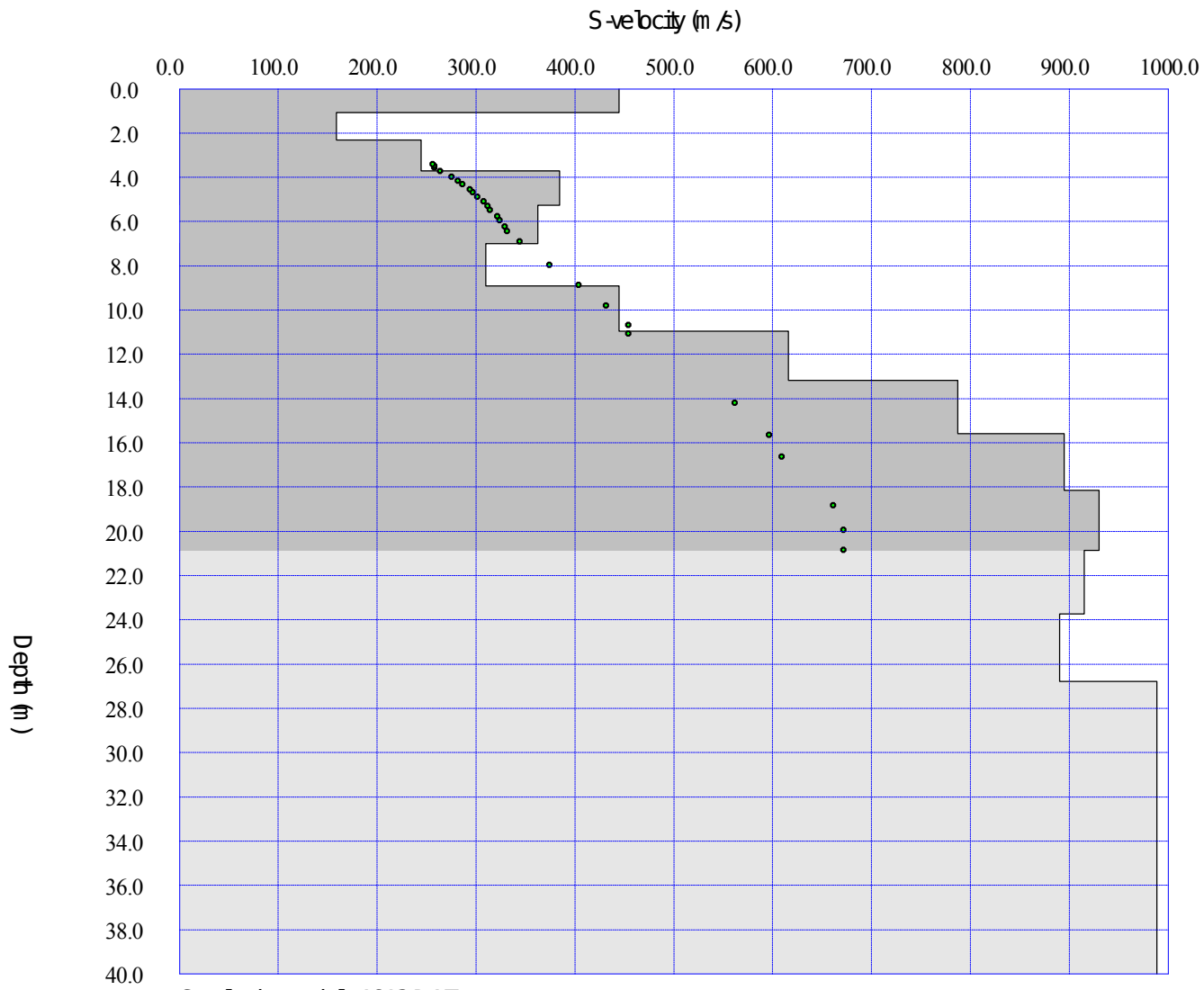
Time (msec)



1613.DAT



Dispersion curve :1613 DAT



S-velocity model: 1613 DAT  
 Average Vs 30m = 444.8 m/s

**Proje Adı** : Ümraniye/İSTANBUL

**Tarih** : 07.10.2006

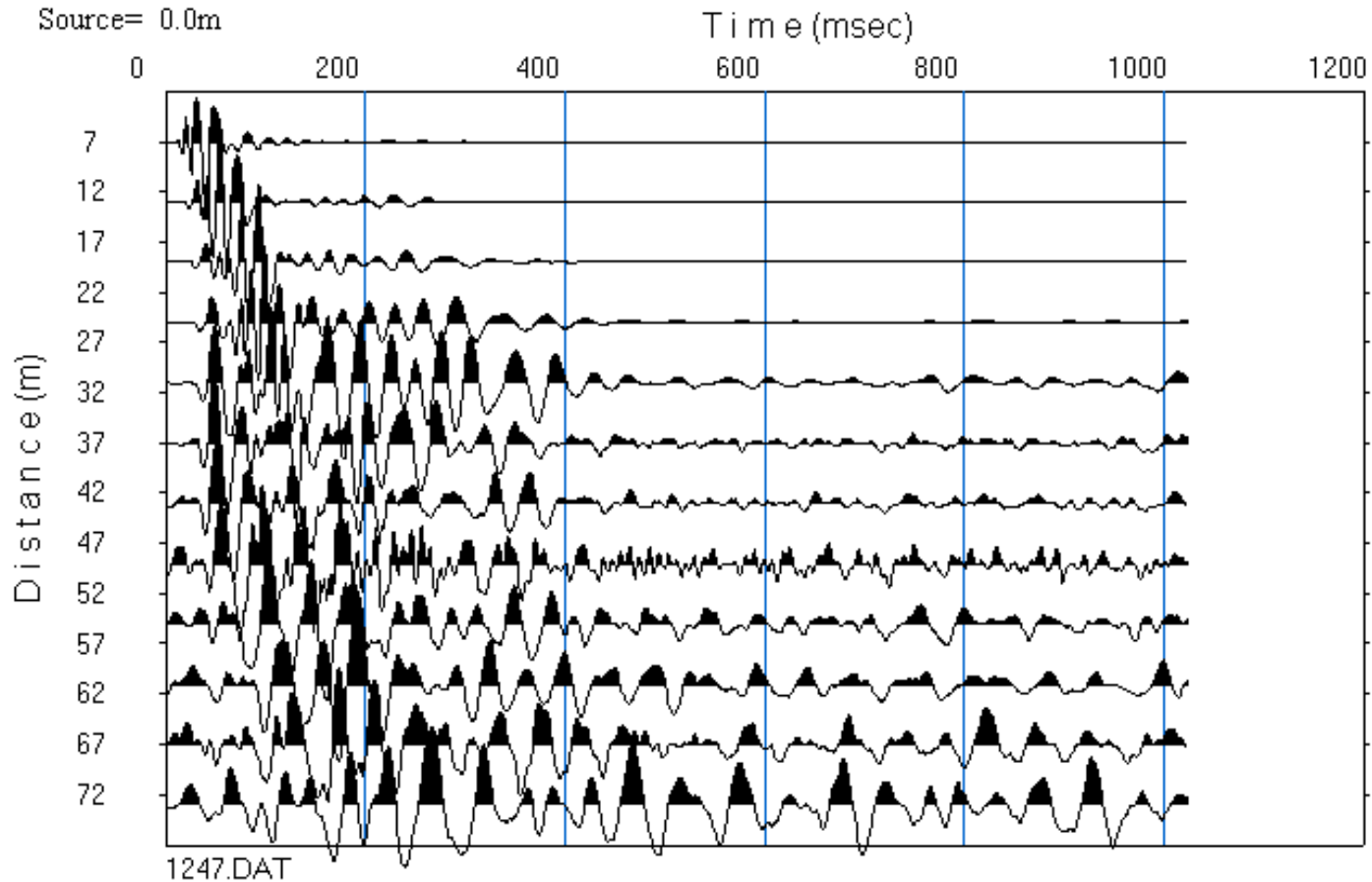
**Ölçü Tipi** : Aktif Kaynak Lineer

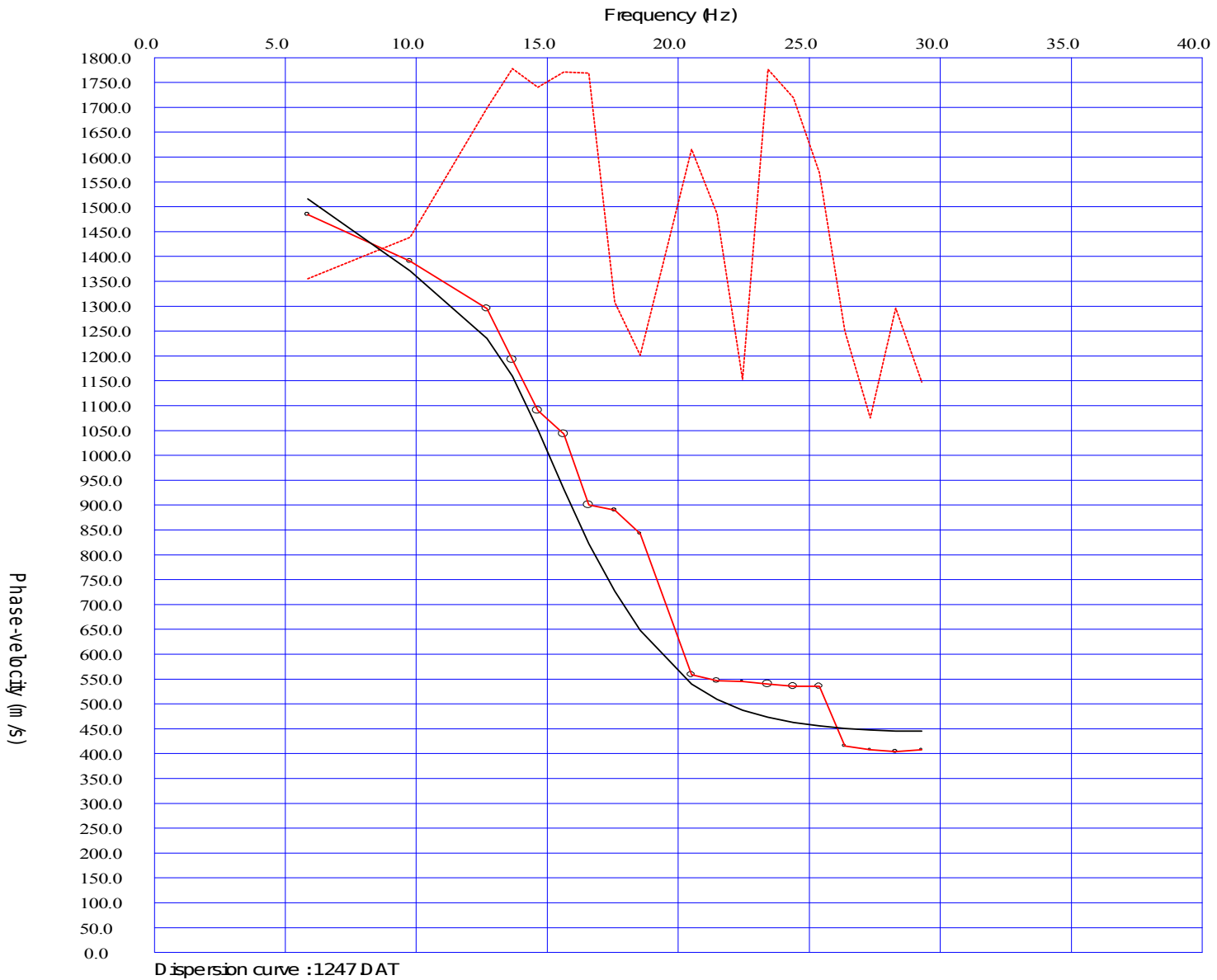
**Koordinatı** : X :0677855

**Profil No** : 1

**Jeofon Aralığı** : 6.0 m.

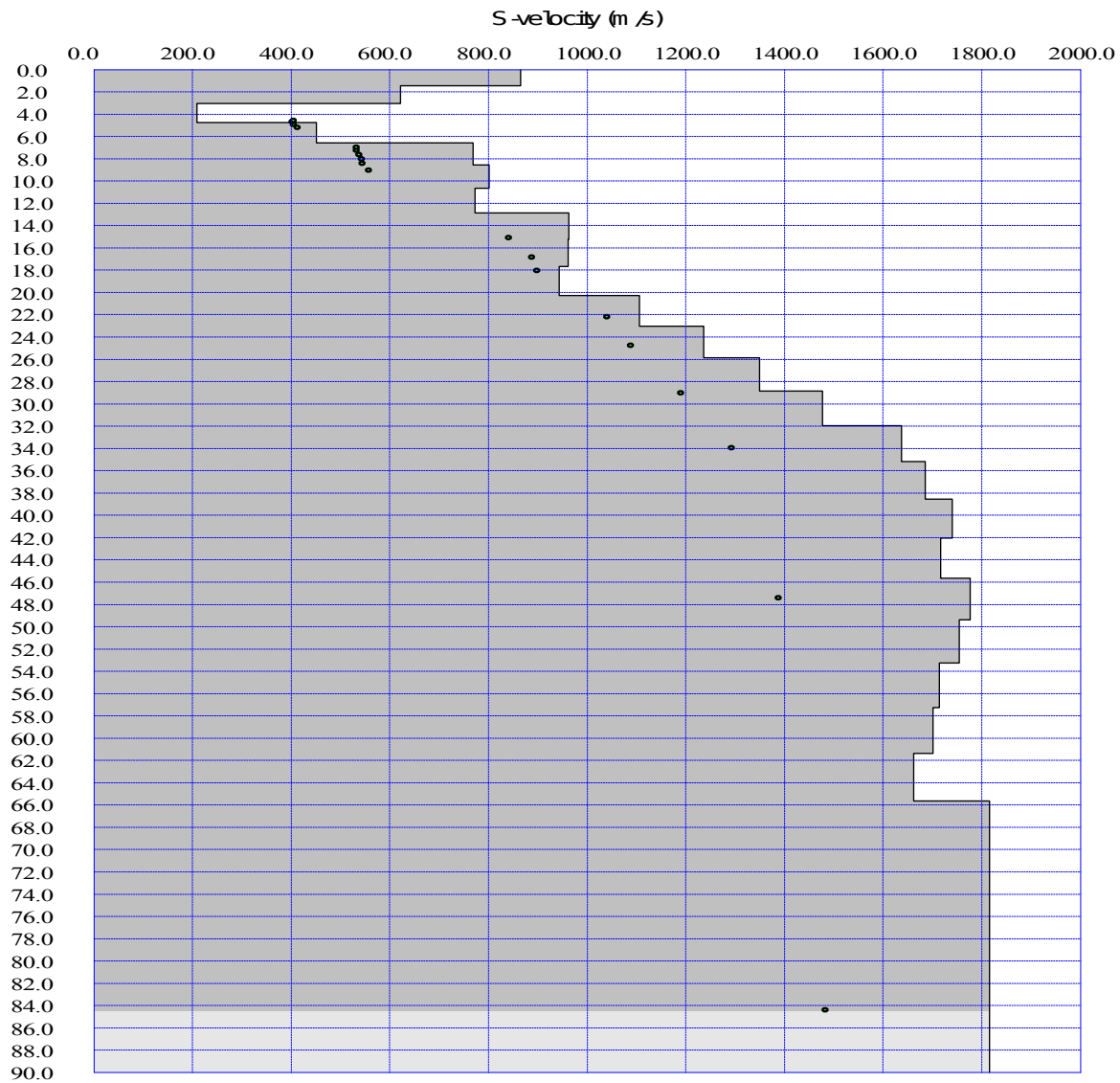
**Y** :4544042





Dispersion curve :1247 DAT

Depth (m)



S-velocity model: 1247 DAT  
Average Vs 30m = 864.7 m/s



**Proje Adı**

**:K.Çekmece-Sefaköy**

**Tarih**

**: 04.05.2006**

**Ölçü Tipi**

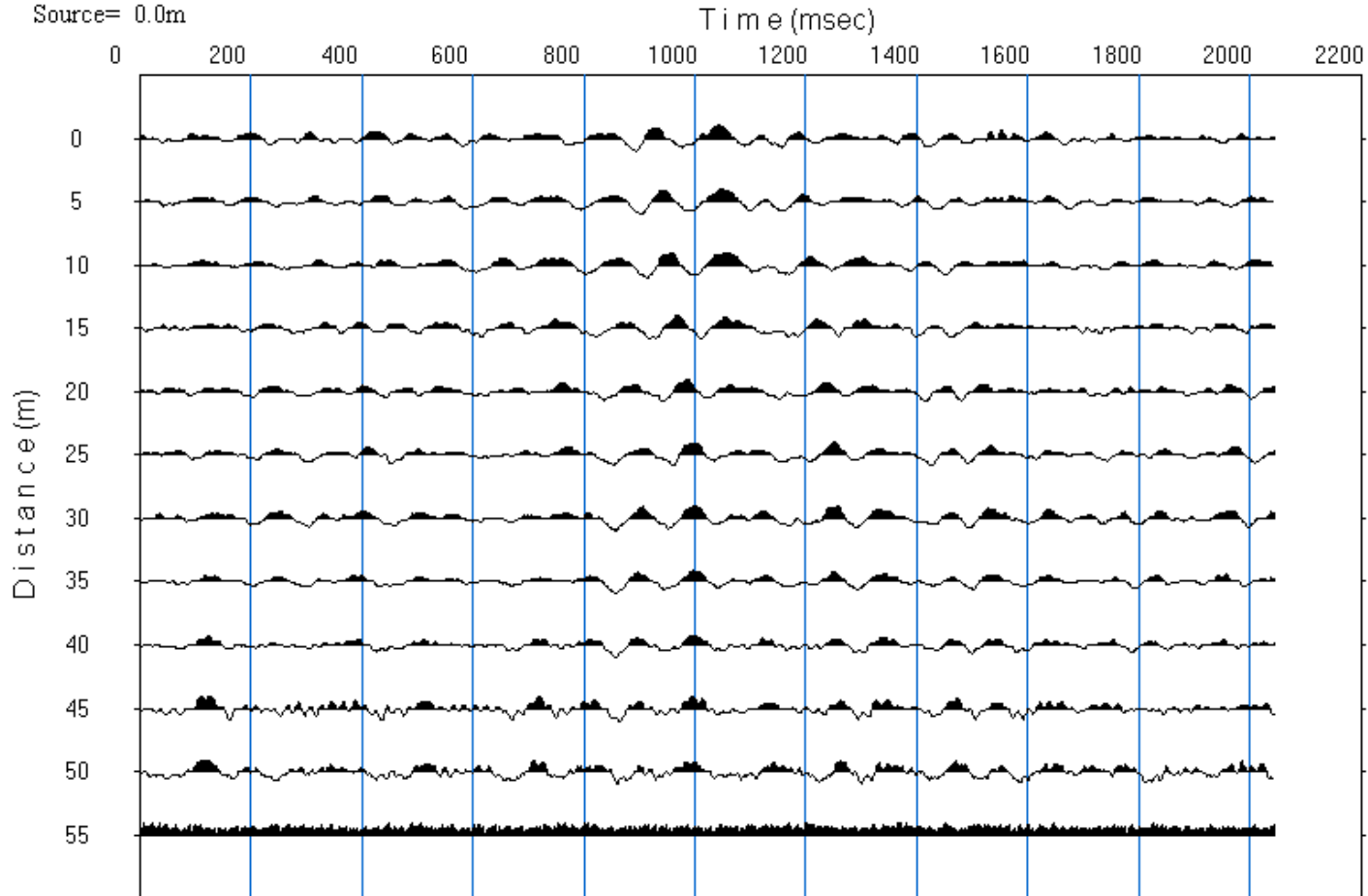
**: Pasif Kaynak L Tipi**

**Profil No**

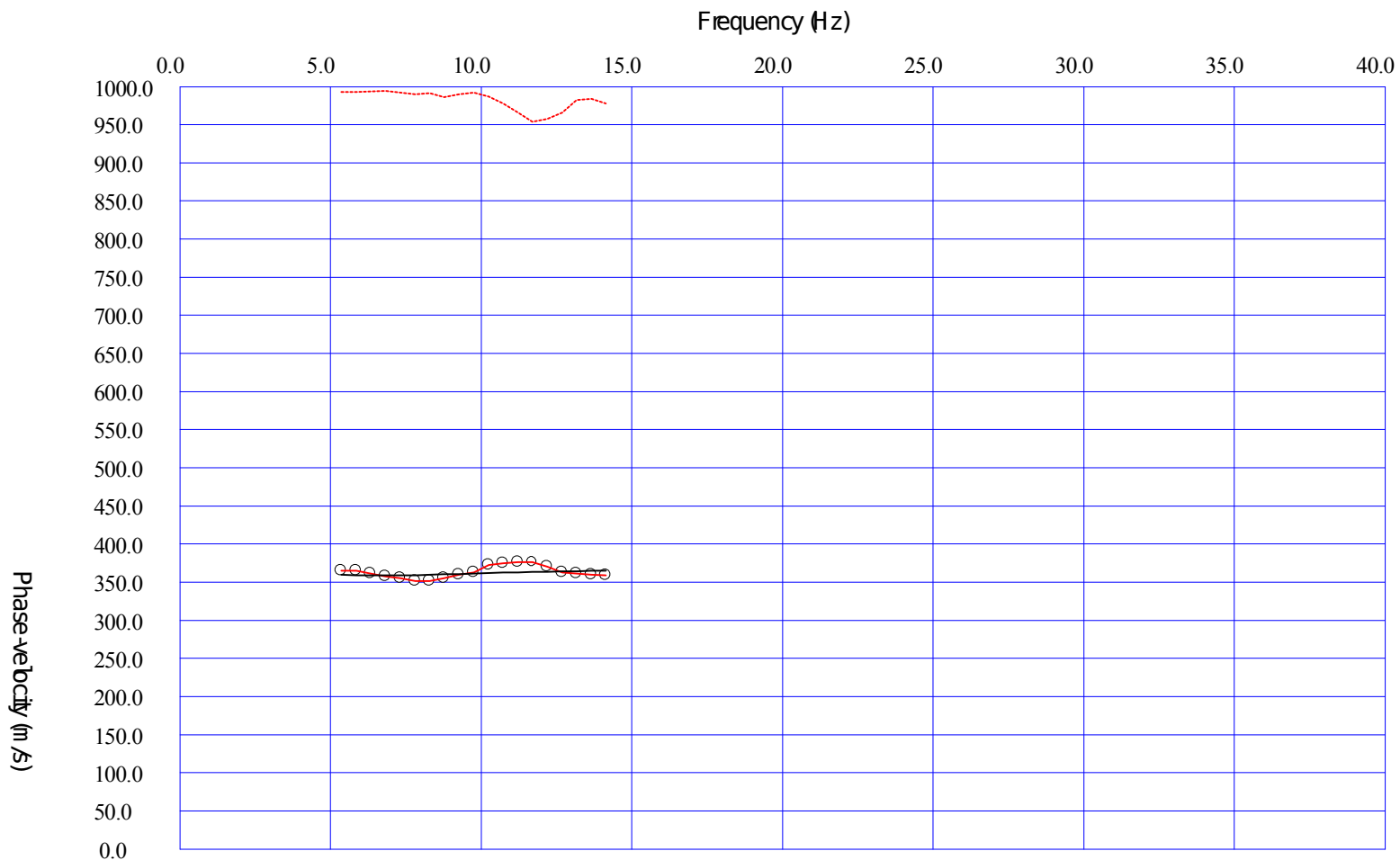
**: 1**

**Jeofon Aralığı**

**: 5.0 m.**

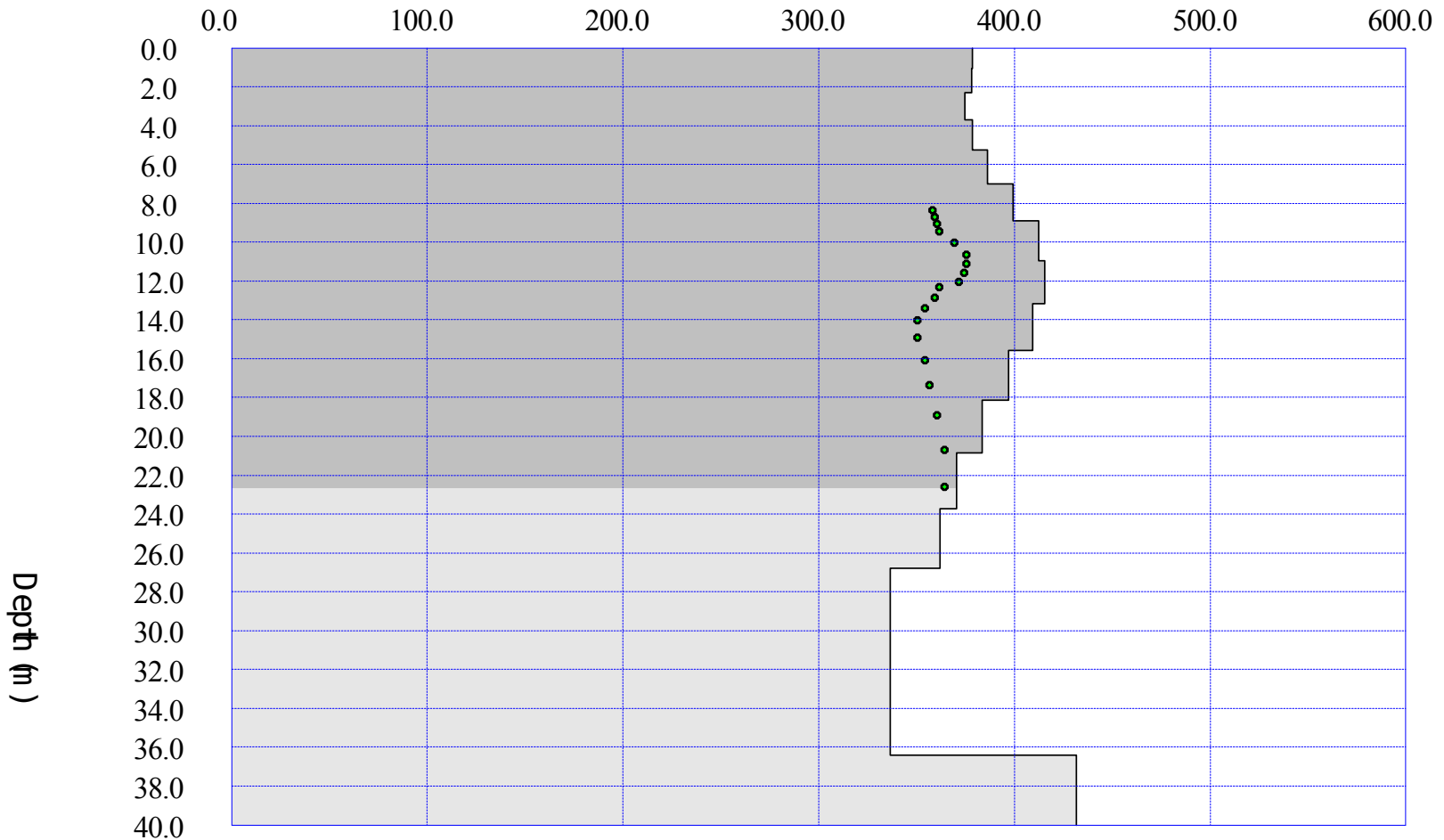


157.DAT



Dispersion curve :157 DAT-217 DAT

# S-velocity (m/s)

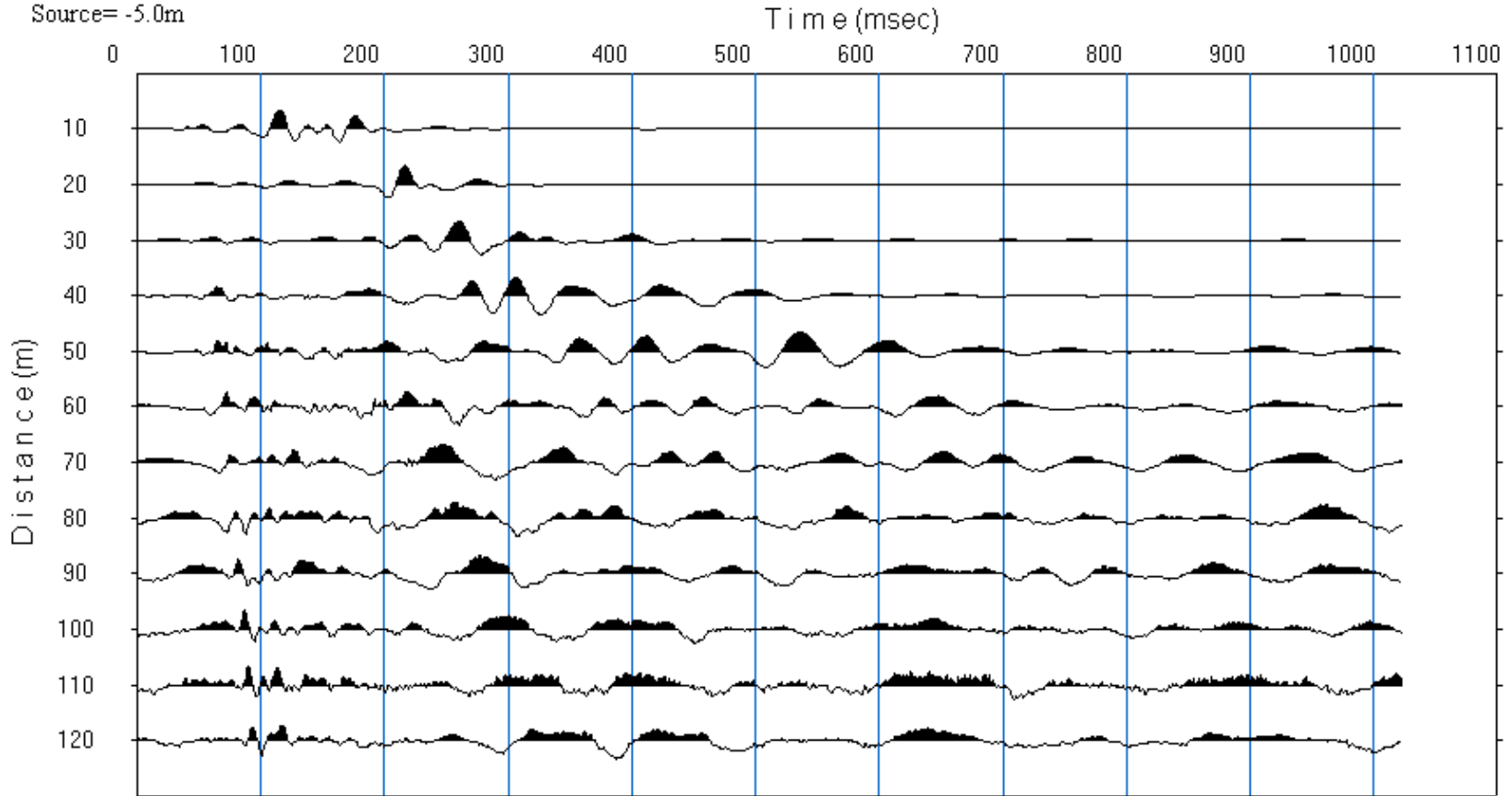


S-velocity model: 157 DAT-217 DAT

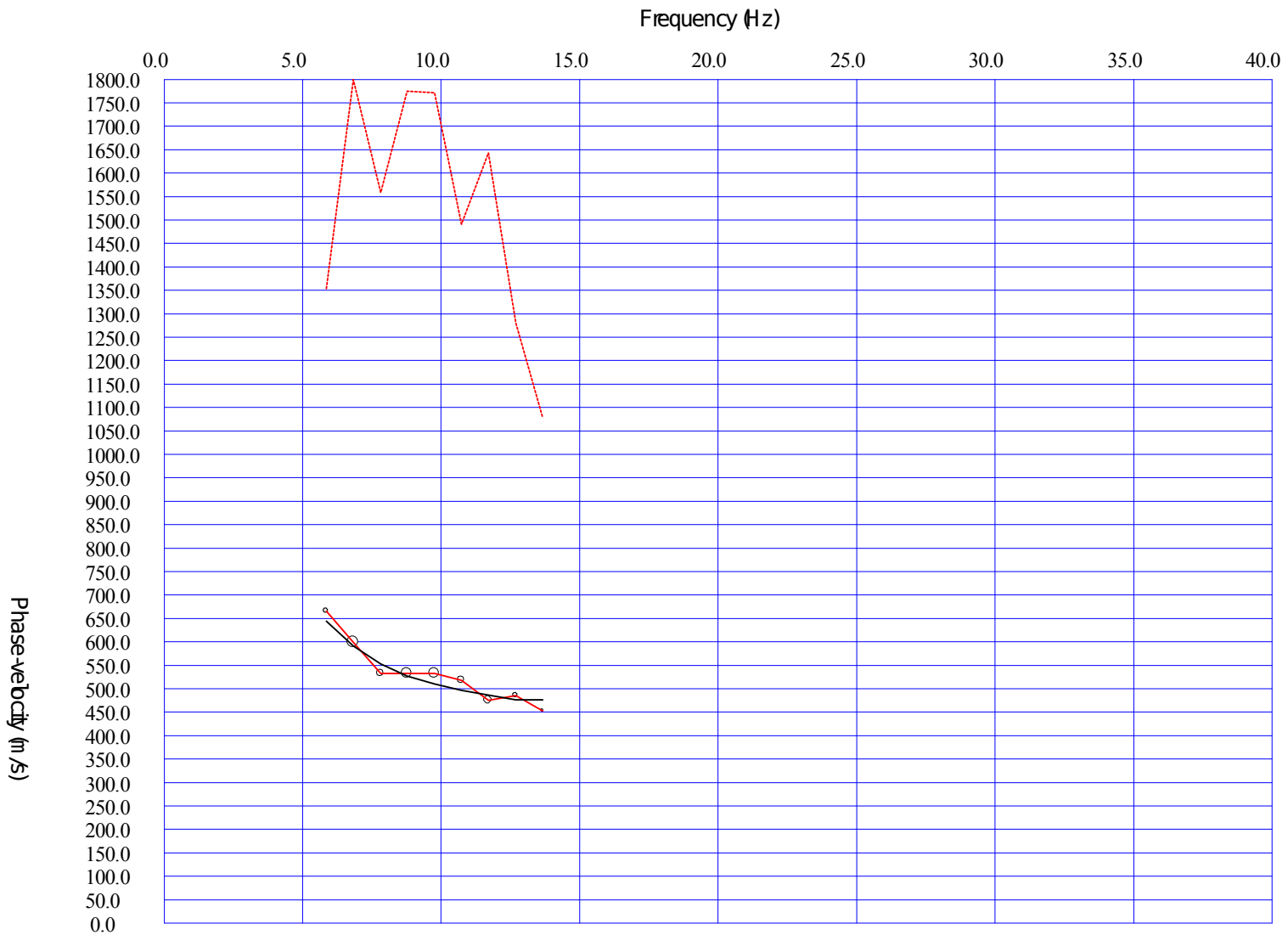
Average Vs 30m = 378.6 m/s

**Proje Adı** :İstanbul-B.Çekmece  
**Tarih** : 30.09.2006  
**Ölçü Tipi** : Aktif Kaynak Lineer  
**X= 0635582 Y=4541973**

**Profil No** : 1  
**Jeofon Aralığı** : 10.0 m.

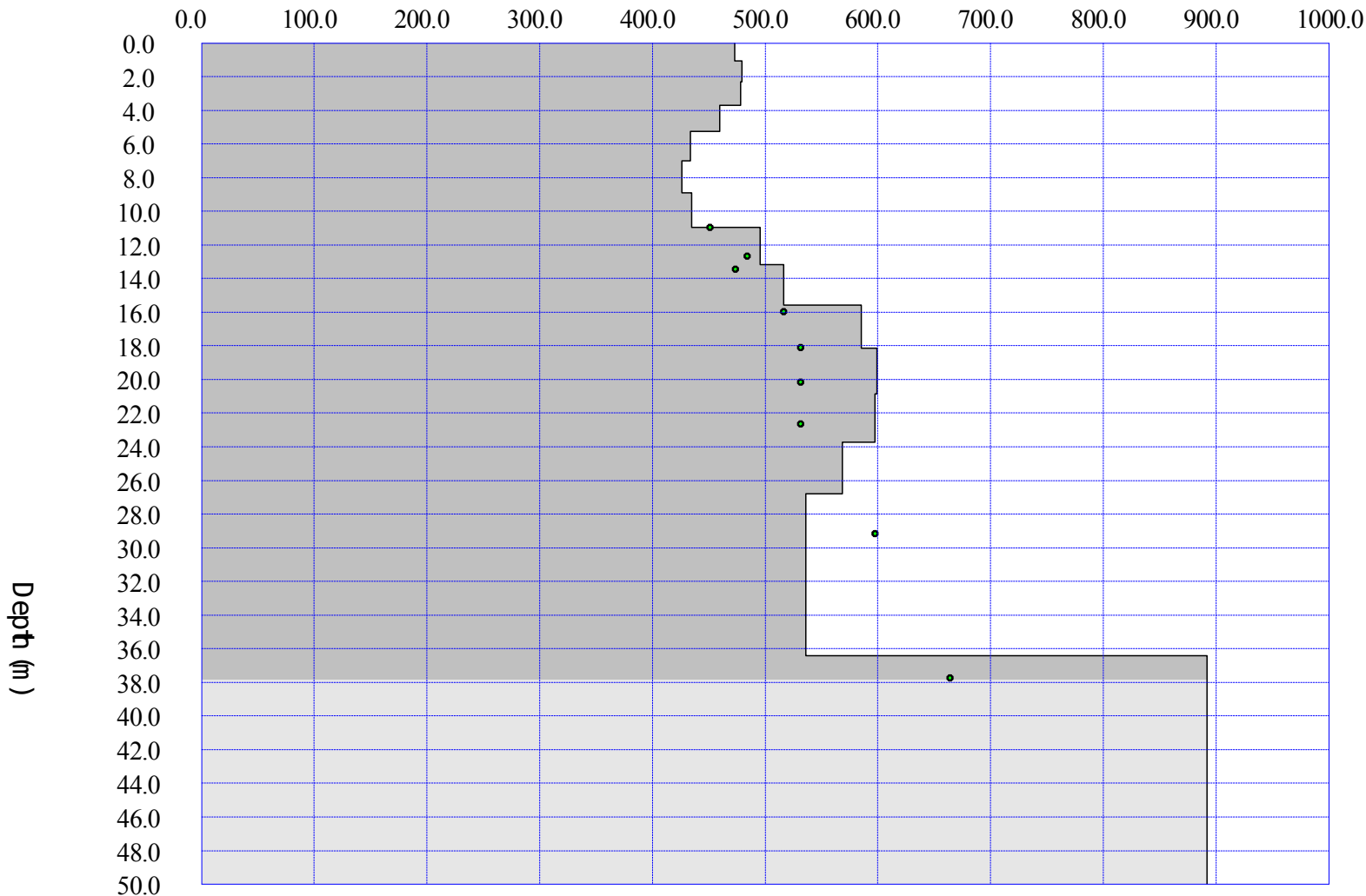


1213.DAT



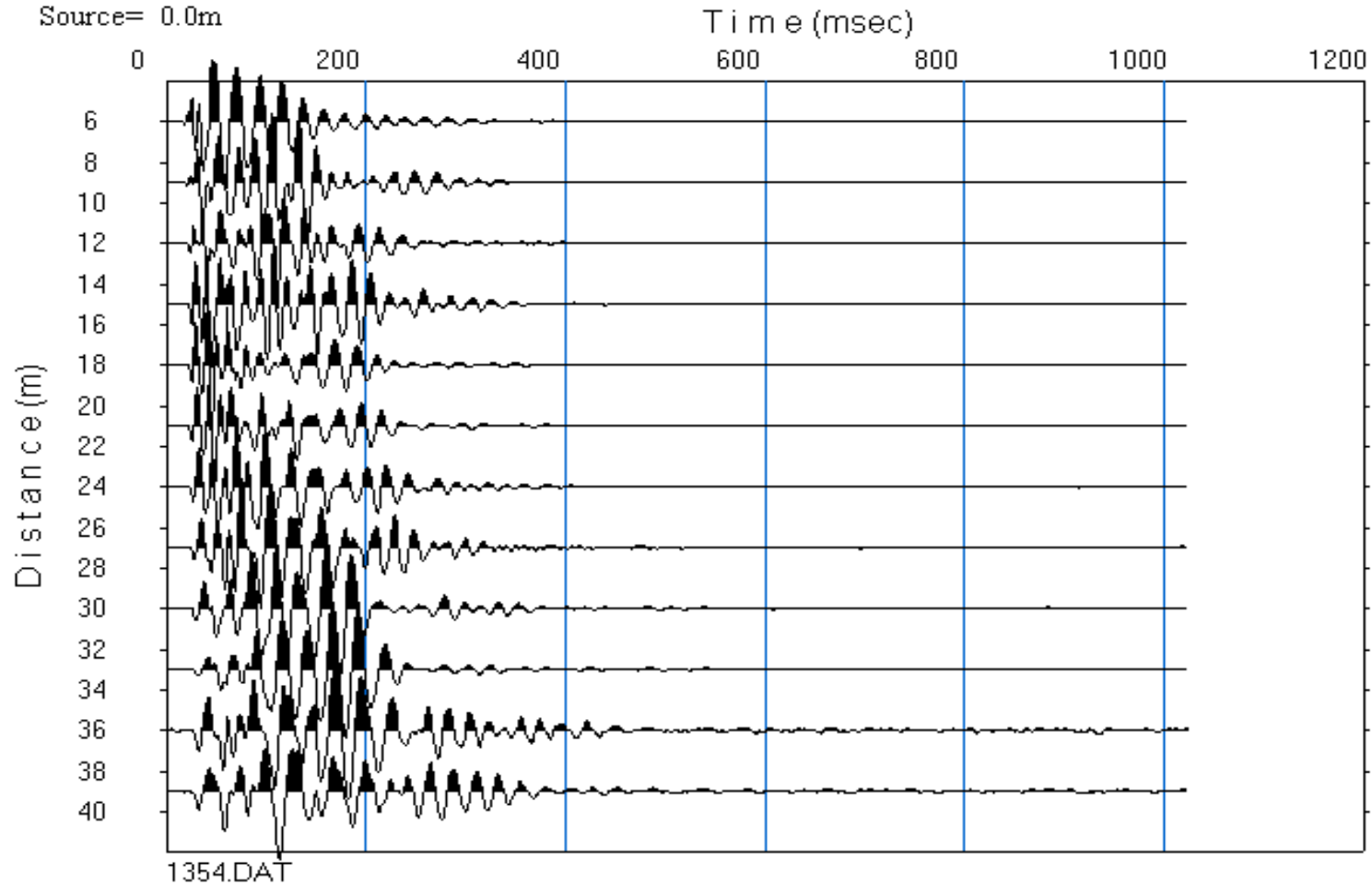
Dispersion curve :1213 DAT

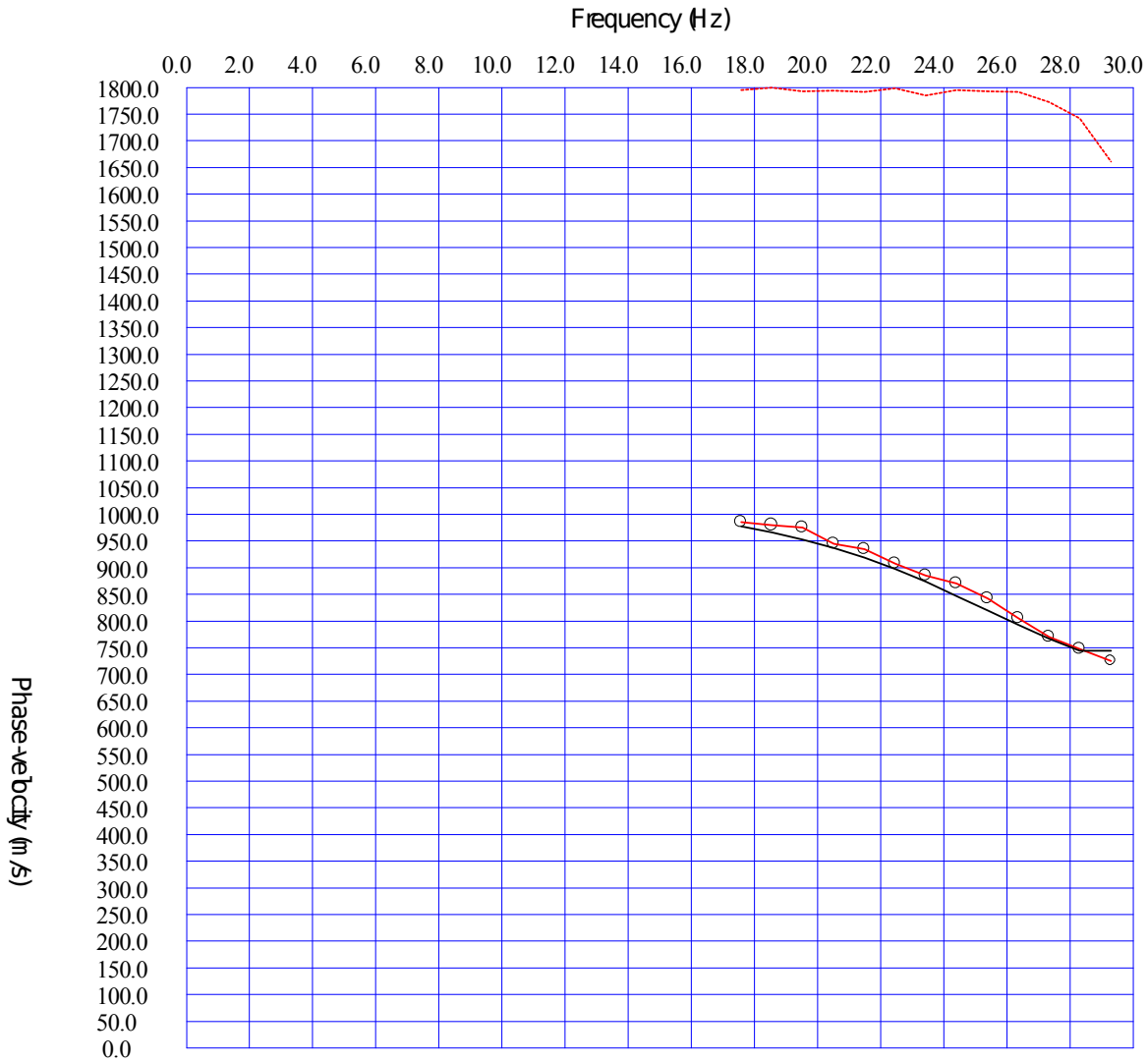
# S-velocity (m/s)



S-velocity model: 1213 DAT  
Average Vs 30m = 473.2 m/s

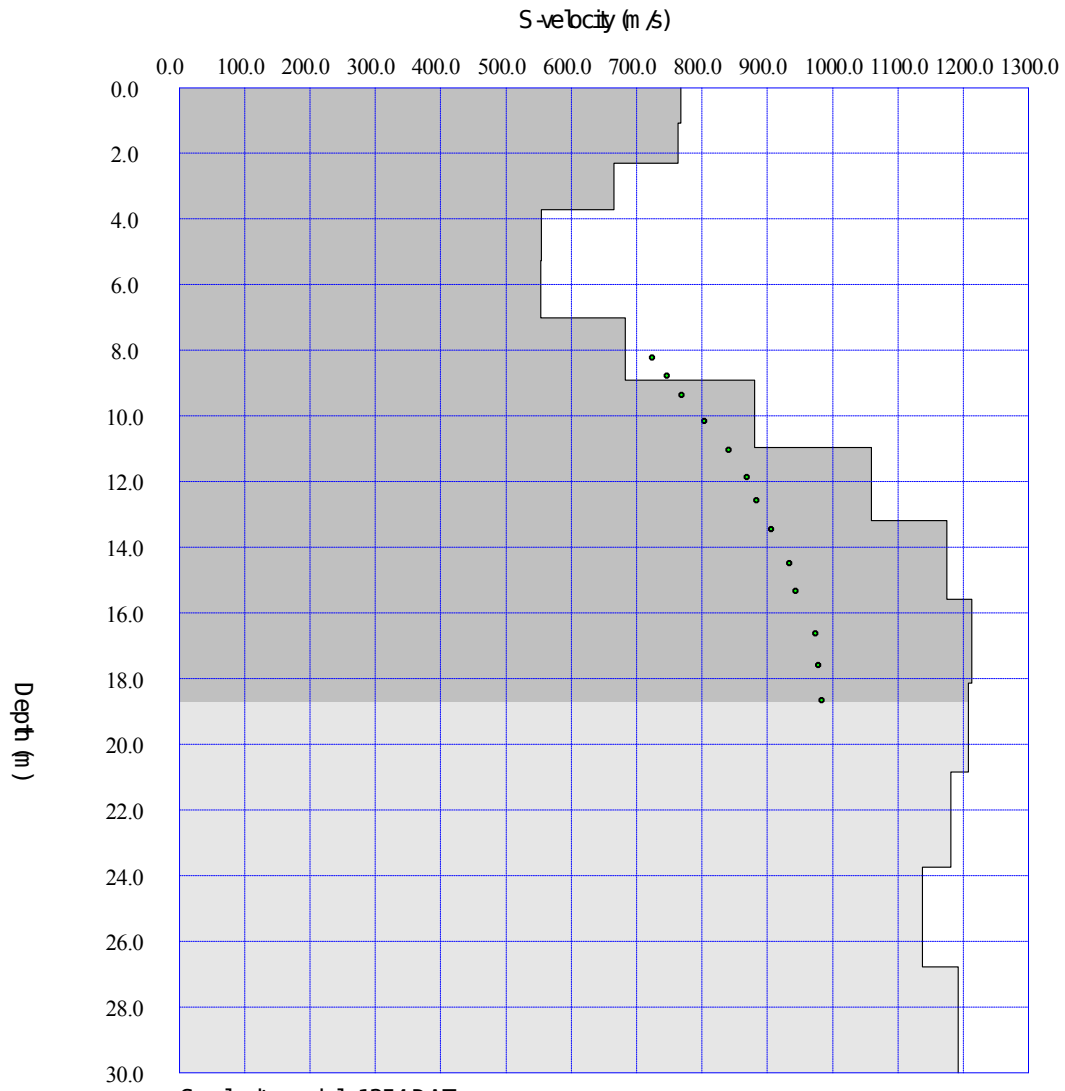
**Proje Adı** :Kocaeli-Gebze-Organize Sanayi Bölgesi  
**Tarih** : 17.10.2006 **Profil No** : 2  
**Ölçü Tipi** : Aktif Kaynak Lineer **Jeofon Aralığı** : 3.0 m.  
**Koordinatı** : X :0704728 **Y** :4524346





Dispersion curve : 1354.DAT






S-velocity model: 1354 DAT  
Average Vs 30m = 767.7 m/s

# Sonuçlar

## Kayma Dalgası Hızı Bilgisi ile

- Depreme dayanıklı yapı yönetmelikleri (UBC/IBC, Euro-Code, Türkiye Deprem Yönetmeliği) için Zemin Sınıflaması yapmak
  - Zemin Büyütme/Tepki Analizleri
  - Sismik Mikrobölgeleme
  - Sıvılaşma Analizi
  - Zemin Emniyet Gerilmesi
  - Zemin İyileştirilmesi Kontrolü
  - Zemin Stratigrafisinin Haritalanması
  - Dolgulardaki Zayıf Zonların Bulunması
- mümkündür.**

- 
- İlginiz ve sabrınız için  
Teşekkürler ...