

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MASW YÖNTEMİNİN  
İRDELENMESİ VE UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Ruhi ŞAHİN**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 09/09/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**



**Yrd. Doç. Dr.  
Şefik RAMAZANOĞLU  
Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr.  
Bülent ORUÇ  
Üye**



**Doç. Dr.  
Murat UTKUCU  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca ve dört yıllık lisans eğitimim sũresinde maddi manevi yardımlarını esirgemeyen baőta danıőmanım Yrd. Doç. Dr Şefik RAMAZANOĞLU'na ve bũlũmũmdeki tũm değerli hocalarıma teőekkũr ederim. Ayrıca tez sũrecimde değerli fikir ve gũrũőlerini benimle paylaőan, her konuda destek olan değerli abilerim Jeofizik Mũh. Murat ESER ve Jeofizik Mũh. Gũrcan ŐENAY'a, Afet İőleri Genel Mũdũrlũđũnden Jeofizik Yũk. Mũh. Ali Zeynel Abidin DENİZLİŐĐLU'na teőekkũrũ borç bilirim. Ve tabii ki aileme...

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Bölgenin Genel Jeolojisi.....	3
BÖLÜM 2.	
SİSMİK DALGALAR.....	6
2.1. Dispersiyon.....	11
2.1.1. Faz hızı ve grup hızı.....	13
2.1.2. Yüzey dalgalarının yayılım özellikleri.....	15
2.2. Günümüzde Sık Kullanılan Yüzey Dalgası Yöntemleri.....	17
2.2.1. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinin teorik esasları.....	20
2.2.2. Dizilim işleme yöntemleri.....	21
2.2.3. Işın parametresi-kesme zamanı dönüşümü.....	22
2.3. S Dalgası Hız Yapısı İçin Ters Çözüm.....	24
BÖLÜM 3.	
UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	26
3.1. Kullanılan Ekipman, Yöntem ve Saha Çalışmaları.....	26

3.2. Masw Çalışmaları.....	26
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A$	:Düzlem dalga alanının genliği
$A(x,w)$	:Genlik spektrumu
$c$	:Faz hızı
$D_x$	:Alıcılar arasındaki mesafe
$E$	:Young modülü
$F$	:Frekans
$h$	:Tabaka kalınlığı
$k$	:Dalga sayısı vektörü
MASW	:Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi
$P$	:Güç spektrumu
$p$	:Işın parametresi
$P(x,w)$	:Faz spektrumu
$p-\tau$	:Işın parametresi-kesme zamanı
$PV$	:P dalga hızı
$r$	:Yarıçap
ReMi	:Kırılma mikrotremor
$RV$	:Rayleigh dalgası
SASW	:Yüzey dalgalarının spektral analizi
$SV$	:S dalga hızı
$T_x$	:Alıcıların toplam uzunluğu
$T$	:Zaman
$u$	:Grup hızı
$u(x,t)$	:Zaman ortamındaki dalga alanı
$U(x,w)$	:Dalga alanının fourier dönüşümü
$\nu$	:Poisson oranı
$z$	:Derinlik
$X$	:Uzaklık
$X_I$	:Ofset uzaklığı
$W$	:Açısal frekans

$\phi$	:Faz kayması
$\lambda$	:Dalga boyu
$\rho$	:Yoğunluk
$\mu$	:Sıkışmazlık modülü
$\tau$	:Kesme zamanı
$\rho$	:Uzamsal özilişki katsayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1	Gölcük ve civarının basitleştirilmiş jeoloji haritası.....	4
Şekil 2. 1.	P dalga hızı ilerleme yönü.....	7
Şekil 2. 2.	S dalga hızı ilerleme yönü.....	8
Şekil 2. 3.	Rayleigh dalga hızı üç boyutlu gösterimi.....	9
Şekil 2. 4.	Love dalga hızı üç boyutlu gösterimi.....	9
Şekil 2. 5.	Dispersiyon a)düşük hız değişimi ve küçük dispersiyon b)yüksek hız değişimi ve büyük dispersiyon, c)ters dispersiyon.....	10
Şekil 2. 6.	Missouri’de (gulf kıyısı yakınları, alabama)kaydedilmiş, bir depremin yarattığı dispesif rayleigh dalgası (Http://eqseis.geosc.psu.edu,Ocak,2009).....	10
Şekil 2. 7.	Homojen model.....	11
Şekil 2. 8.	Faz hızı eğrisinin özellikleri.....	11
Şekil 2. 9.	Rayleigh dalgalarından elde edilen dispersiyon eğrisi.....	12
Şekil 2. 10.	Grup hızı tanımı.....	12
Şekil 2. 11.	Normal dispersiyon gösteren bir dalganın birbirini izleyen üç ayrı noktadaki durumu.Grup hızı (u) ve faz hızı (c), sırasıyla uu ve cc doğrularının eğimleri ile verilirler.....	13
Şekil 2. 12.	İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli (p=yoğunluk, $\mu$ =rijidite)....	13
Şekil 2. 13.	Yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yönteminin arazi aşaması...	14
Şekil 2. 14.	Kaynak alıcı şeklinin tanımı.....	14
Şekil 2. 15.	a)x-t ortamındaki veri b)p- $\tau$ dönüşümü uygulandıktan sonra elde edilen görüntü.....	15
Şekil 2. 16.	Hızın frekansa bağlı olarak değişmesi sonucu oluşan dispersiyon eğrisi.....	16

Şekil 2. 17.	Dispersiyon eğrisine ters çözüm uygulayarak oluşan S dalga hız yapısı.....	17
Şekil 2. 18	Kaynak alıcı şeklinin tanımı.....	18
Şekil 2. 19	a)x-t ortamındaki veri b)p-t dönüşümü uygulandıktan sonraki görüntü.....	24
Şekil 2. 20	Hızın frekansa bağlı olarak değişmesi sonucu oluşan dispersiyon eğrisi	25
Şekil 2. 21	Dispersiyon eğrisine ters çözüm uygulayarak oluşan s-dalga hız yapısının derinliğe göre modellenmesi.....	25
Şekil 3. 1.	Çalışma alanına ait kroki.....	27
Şekil 3. 2.	Ks-01 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt.Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeğinin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır.Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır.Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir.Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir.....	28
Şekil 3. 3.	Ks-01 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi.....	28
Şekil 3. 4.	Ks-01 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği.....	29
Şekil 3. 5.	Ks-02 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt.Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeğinin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır.Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır.Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir.Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir.....	30



Şekil 3. 6.	Ks-02 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi.....	30
Şekil 3. 7.	Ks-02 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği.....	31
Şekil 3. 8.	Ks-03 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir.....	32
Şekil 3. 9.	Ks-03 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi.....	32
Şekil 3. 10.	Ks-03 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği.....	33
Şekil 3. 11.	Ks-04 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir.....	34
Şekil 3. 12.	Ks-04 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi.....	34
Şekil 3. 13.	Ks-04 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği.....	35

- Şekil 3. 14. Ks-05 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir..... 36
- Şekil 3. 15. Ks-05 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi..... 36
- Şekil 3. 16. Ks-05 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği..... 37

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Ks-01 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo.....	29
Tablo 3. 2. Ks -02 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo.....	31
Tablo 3. 3. Ks-03 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo.....	33
Tablo 3. 4. Ks-04 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo.....	35
Tablo 3. 5. Ks-05 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo.....	37

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüzey Dalgaları, MASW Yöntemi, Rayleigh Dalgası, Faz Hızı, Dispersiyon, Ters Çözüm

Yüzey dalgası yöntemlerinde, S dalgası hızı modellemesi, belirli bir geometride yerleştirilen alıcı dizilimleriyle kaydedilen verilerden dispersiyon bilgisinin ters çözümünden yapılmaktadır. Yüzey dalgası yöntemleri aktif ve pasif kaynaklarla kullanılır. S dalgası hızı bilgisi ile sismik zemin büyütmesi, zeminin dinamik parametreleri belirlenir ve sismik yer tepkisi hesaplanır, sismik risk bölgeleme haritaları oluşturulur. Yerleşim alanlarında, sinyal/gürültü oranı genellikle düşüktür ve alıcıların uzun serimlerle yerleştirilmesi oldukça zordur. Ayrıca, yerleşim alanlarında, yeterince büyük enerji kaynağı kullanılamayabilir. Buna bağlı olarak, inceleme derinliği de sınırlı olacaktır. Bu nedenlerden dolayı, düşük frekanslarda uzun dalga boyları ile seyahat eden yüzey dalgalarından faydalanma yoluna gidilmiştir. Bu tez çalışmasında, aktif kaynaklı yöntem olan Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW) kullanılarak, Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Dispersiyon eğrilerinin ters çözümünden kayma dalgası hızları kestirilmiştir. Rayleigh yüzey dalgalarının temel modunun analizi ile derinliğe bağlı olarak değişim gösteren S dalga hızı yapısı çıkartılabilmektedir. Yöntem ile verilerin analizinin yapılması amacıyla, aktif kaynaklı MASW yorumu kullanılarak, 12 kanallı Ras24 Seistronix marka sismik kayıtçı ile elde edilen sismik veriler işlenmiştir. Alınan sismik verilerle SeisImager adlı bilgisayar programı ile dispersiyon eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen dispersiyon eğrisinin ters çözümü faz hızı-frekans eğrisini kayma dalga hızını kestirmek için referans olarak kullanılmıştır.

# EXAMINATION AND APPLICATIONS OF THE MASW METHOD

## SUMMARY

Key Words: Surface Waves, The method of MASW, Rayleigh wave, Phase Velocity, Dispersion, Inverse solution.

In the method of surface wave, modelling the wave velocity of S is estimated from inverse solution of dispersion data by using some data which are saved by wireless sensors in a certain geometry. The method of surface wave are used with active sources as well as passive sources. With the information of wave velocity of S seismic ground amplification, dynamical parameters of the ground are determined and seismic reaction of the earth is calculated, seismic risk zoning maps are building. In the residential areas, the rate of signal/noise is usually low and it is quite hard to locate wirelesses with the long lays. Also, in the residential areas, enough big energy source is may not use. Therefore, deepness of observation will be limited. Because of those reasons. It has been derived benefit from the surface waves which travel in low frequencies with the long wavelenghts. That thesis study has been made directed toward to determine the value of Vs30 in the study area between Golcuk and Hisareyn summerly town in the city of Izmir. Using of (MASW) the method of multichannel surface wave which is with the active source. Rayleigh wave dispersion curve is acquired. The velocities of slipping wave are predicted from the inverse solution of dispersion curves. The value of velocities which are has deepness until 30 m have been inventioned under the 500 m/s. That shows us the ground is consists of vey bad alluvium ingredient. The structure of S wave velocity which shows variations is invented depending on analyzing the fundamental mode of Rayleigh surface waves and deepness with the aim of making data analyze with the method using interpretation of active source MASW. The seismic data which is found by 12 channel Ras24 seistronix brand seismic recorder have been processed. Using the SeisImager computer program With that seismic data the dispersion curve is made. That inverse solution of the dipersion curve is used as a reference to make prediction for land velocity-frequency curve's slipping wave velocity.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında (bina, yol, baraj yapımı vs.) zemine ait elastik parametrelerin belirlenmesi, o zemin üzerine yapılacak yapıların güvenliği açısından son derece önemlidir. Zemine ait elastik parametrelerin yönelik sadece P dalga hızının bulunması ve gelişi güzel bir Poisson oranı kullanılarak P dalga hızından S dalga hızına geçiş bazı hataları da beraberinde getirir.

Zeminin dinamik özellikleri belirlenerek deprem sırasındaki davranışlarını belirlemede S dalgası hız bilgisinden yararlanır. Bu dinamik özelliklerin belirlenmesi ile de birçok mühendislik problemin çözümüne (zemin büyütmesi, sıvılaşma, heyelan vb.) katkı sağlanmış olur. Ayrıca temel kaya derinliği ve üzerinde yer alan tabakaların kalınlıkları belirlenebilir. S dalgası hızı bilgisi ve temel kaya üzerinde bulunan tabakaların kalınlıkları biliniyor ise sismik yer tepkisi belirlenebilir.

Mühendislik çalışmalarının kent içinde ve dar alanlarda gerçekleştirilmesi gerektiğinden, hedeflenen araştırma derinliği için sismik kırılma yönteminde gerekli serim uzunluğunu elde etmek her zaman olanaklı olmamaktadır. Alüvyon kalınlığının 30 metreden daha kalın olduğu durumlarda sismik kırılma yöntemi ile sismik temelin saptanması oldukça güçleşmektedir. Bu tür sorunlarla karşılaşmamak için yerleşim alanlarında yüzey dalgasının kullanılması avantaj sağlamaktadır.

Yüzey dalgası çalışmalarında periyodun bir fonksiyonu olarak grup varış zamanları, faz açısı ve genlik belirlenmeye çalışılır. Bu parametreler, kabuk-üst manto yapısının, deprem kaynak mekanizmalarının ve yerkürenin elastik özelliklerinin incelenmesinde önemli bir veri grubu oluştururlar.

Yüzey dalgası yöntemleri, aktif ve pasif kaynaklı olmak üzere ayrılır. Aktif kaynak, sinyal/gürültü oranı yüksek, yerleşim aşanlarından uzakta, sakin çalışma alanlarında tercih edilmektedir. Aktif kaynaklar, doğrusal dizilimler ile kullanılmaktadır. Pasif kaynaklı yüzey dalgası analizlerinde, sismik enerji genellikle düşük frekans ve uzun dalga boyları ile yayıldığı için aktif kaynaklı yöntemlere göre, daha derin yer yapılarının incelenmesine olanak verir.

Aktif kaynaklarının tercih edilmesindeki en önemli nedenlerinden biri, bu yöntemlerde kaynağın yerinin bilinmesi ile birden fazla sinyalin oluşturabileceği sorunların ortadan kaldırılmasıdır. Sinyal/gürültü oranının yüksek olduğu yerleşim alanlarından uzak bölgelerde aktif kaynaklı çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda, veri toplama ve işleme aşamaları daha hızlı ve kolaydır (Xia vd. , 2005). Yüzey dalgalarının dispersiyon verilerinin ters çözümünden elde edilen S dalgası hız yapısı ile zeminin dinamik özellikleri birçok mühendislik çalışmalarında kullanılan; zemin büyütmesi, zemin sıvılaşması, zemin hâkim titreşim periyodu vb. değerler elde edilir.

Yüzey dalgası yöntemlerinin gelişimi, kuramsal temelleri ve mühendislik problemlerine uygulanışı Socco ve Stobbia (2004) tarafından özetlenmiştir. Yüzey dalgaları, sismolojide çok eskiden beri kabuk ve üst mantonun yapısının araştırılmasında kullanıla gelmekle birlikte, yer yapı incelemelerinde makaslama dalgası hızlarının saptanması gibi sığ amaçlar için kullanımı SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) yönteminin geliştirilmesi ile başlamıştır (Nazarian ve Stokoe, 1984; Stokoe ve Nazarian, 1985; Gucunski ve Woods, 1991; Tokimatsu vd. , 1992).

Aktif kaynaklı yüzey dalgası çalışmalarına örnek olarak, sismolojideki iki istasyon yönteminin, mühendislik amaçlı kullanıma uyarlanmış hali olan yüzey dalgalarının spektral analizi yöntemi verilebilir (Bergstrom, 1999, Svensson vd. , 1999). Yüzey dalgalarının spektral analizi yöntemi ile aynı doğrultuda bulunan kaynak ve iki jeofondan oluşan kaynak-alıcı dizilimi ile iki jeofon arasında kalan alanın hız-derinlik profili çıkarılabilmektedir. Bir profil boyunca yerleştirilen alıcılar, yüzey dalgalarının çok kanallı analizi, MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

ile daha ayrıntılı ve yüzey dalgalarının yüksek modları ile de analiz yapılabilmektedir (Park vd. ,1998a,b).

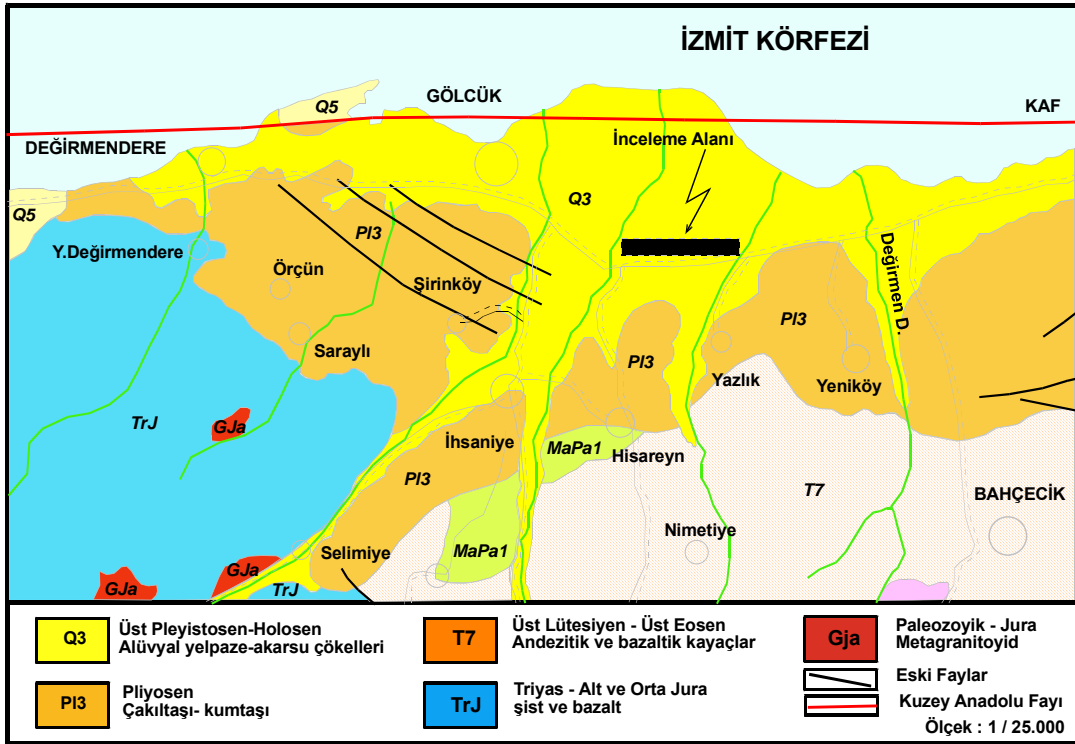
Uygulama alanında alınan ölçümler sonrasında veriye önce MASW yöntemi uygulanarak 1D PickWin/Surface Wave Analysis programında veri işlenerek dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra elde edilmiş olan dispersiyon eğrisi kullanılarak ters-çözüm işlemi sonucu yerin S dalga hız bilgisine ulaşılmıştır.

Bu çalışma, “Kocaeli ili Yeniköy, Yazlık, Gölcük, İhsaniye ve Hisareyn belediye sınırları dâhilinde bulunan Afete Maruz Bölgenin Revize İmar Planına Esas Jeolojik- Jeoteknik Etüd” projesinin bir parçası olarak hazırlanmıştır. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi, maliyeti düşük çevreyle olan uyumu sayesinde tercih edilebilecek yöntemlerden birisi olması ve veri işlem aşamalarında hızlı ve kolay bir şekilde çözüm elde ettiğini ortaya koymasındandır. Model denemeleri sonucu, derinliğe göre sismik hızdaki değişim artıkça dispersiyonda artmıştır.

### **1.1. Bölgenin Genel Jeolojisi**

İnceleme alanı, Armutlu bloğunun kuzey tarafında, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı kesiminde, İzmit Körfezi-Sapanca fay parçası arasında gelişmiş çek-ayır bölge içerisinde yer almaktadır. Bölgede çalışan pek çok araştırmacıya göre bölgenin taban kayacını Prekambriyen-Alt Palezoyik yaşlı Pamukova metamorfikleri ile Karbonifer-Permiyen yaşlı serpantin, şist, gnays ve granitik kayalardan ibaret olistolitler ile türbiditik ve volkanoklastik kayalar oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 1. 1.)





Şekil 1. 1. Gölcük ve civarının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Herece ve Akay 2003'den değiştirilmiş)

Eosen yaşlı magmatik ve volkanik kayalar, bölgede geniş bir alanda dağılım göstermektedir. Miyosen yaşlı sedimanter kayalar, Eosen yaşlı birimleri açılı uyumsuz örterken, Pliyosen yaşlı birimler tarafından açılı uyumsuz olarak örtülürler. Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı birimler karasal ortamda depolanmış çökellerden oluşmaktadır.

Pliyosen yaşlı akarsu-gölsel istif, KAF boyunca, Sapanca Gölü güneybatısında, Feyziye, Yuvacık, Gölcük güneyi, Bahçecik kuzeyini kapsayan Sapanca Gölü-İzmit Körfezi arasında dağ eteklerinde yüzelemektedir. Bu birimler, kumtaşı, silt taşı ve çakıl taşı ardası halinde akarsu çökelleri ile temsil edilmektedir. Feyziye'de Pliyosen birimlerin kalınlığı, 50-75 metreye kadar ulaşmaktadır. Çakıllar, genellikle Eosen yaşlı andezit ve Neojen yaşlı tüflerden oluşmaktadır.

İzmit Körfezi güneyi boyunca, Pliyosen yaşlı birimler, silt, tüf ve kum ardalaşmasıyla temsil edilmektedir. Çınarcık-Karamürsel arasında, bu birimler kıyı boyunca yer almaktadır. Yalova güneyi ve Karamürsel güneybatısında Pliyosen birimleri silt taşı ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Yalova yakınlarında Hersek

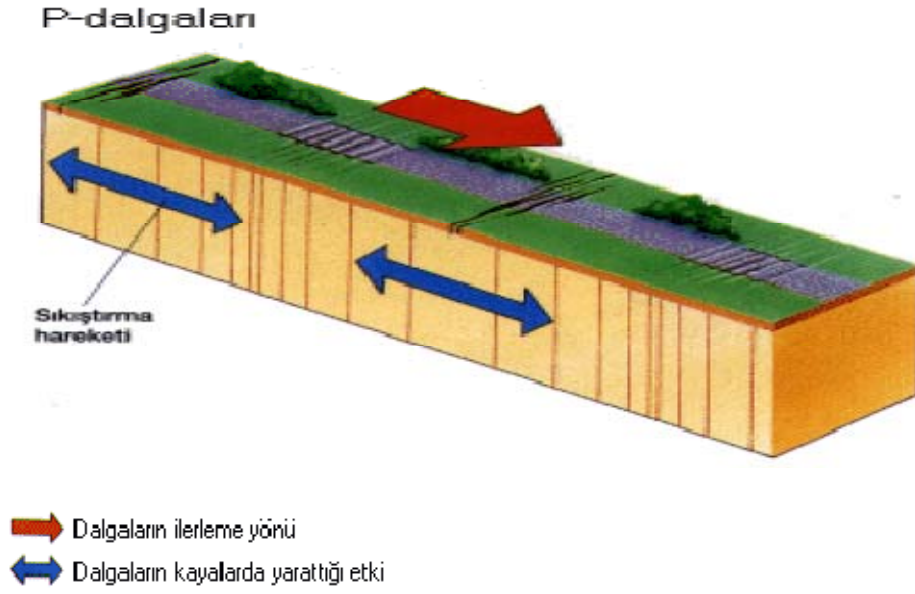
deltası ve Altınova'da çakıl, kum, silt ve kil tabakalarından ibaret gevşek ve suya doygun alüvyonlar yer almaktadır.

## **BÖLÜM 2. SİSMİK DALGALAR**

Bir sismograma bakıldığında görülen eğriler, yer içerisinde ilerleyen sismik dalgaların yarattığı titreşimleri işaret eder. Sismik dalgalar, yer içerisinde ilerleyen titreşimlerdir ve bu dalgalar, hareketin meydana geldiği bir kaynaktan itibaren tüm enerjiyi bütün yönlerde iletirler. Basit olarak sismik dalgalar dört ana grupta toplanır. Bunlar;

- P Dalgası
- S Dalgası
- Love Dalgası
- Rayleigh Dalgası

Bir deprem oluştuğunda, ortaya çıkan P ve S dalgaları her yöne yayılır ve yerin yüzeyi ile sığ yapılara girdiklerinde, yüzey dalgalarını oluştururlar. Kayıtçıya yakın bir depremin sarsıntısı büyük olur ve sismogramda S (kayma) dalgası ve kısa periyotlu yüzey dalgaları baskın olur. Bu dalgalar, binalarda, köprülerde, vb... yapılarda büyük hasarlara yol açarlar.



Şekil 2. 1. P dalga hızı ilerleme yönü (<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/deprem> 2008)

P dalga hızı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır;

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (2.1)$$

Burada,

$V_P$  = P Dalga Hızı (m/sn)

$\lambda$  = Dalga Boyu

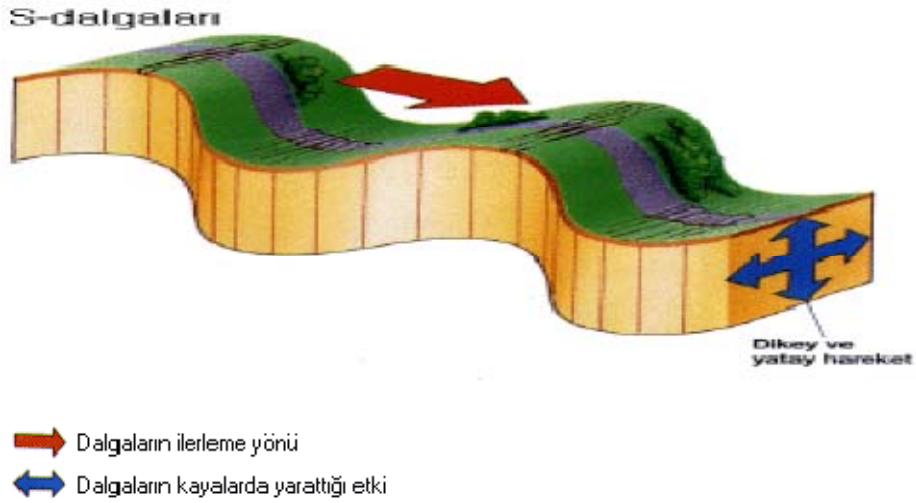
$\mu$  = Sıkışmazlık Modülü (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

E = Young Modülü (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Poisson oranı

olarak tanımlanır.



Şekil 2. 2. S dalga hızı ilerleme yönü (<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandık/deprem.Kasım,2008>)

S dalga hızı aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada,

$\mu$  = Sıkışmazlık Modülü (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

E = Young Modülü (N/m<sup>2</sup>)

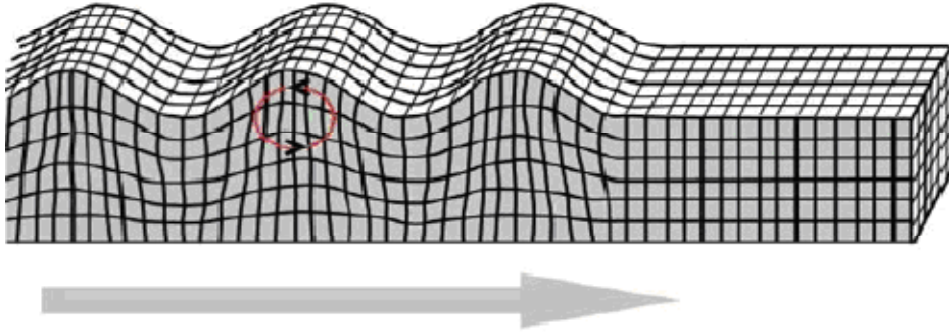
$\sigma$  = Poisson oranı

olarak tanımlanır.

Kaynaktan uzaklaştıkça, sismik dalgaların genliği, depremin enerjisinin azalmasına bağlı olarak azalır. Ayrıca, depremin odak noktasından uzaklaştıkça dalgalar dispersif özellik kazanır. Çünkü P, S ve yüzey dalgaları, farklı hızlarla seyahat ederler. P ve S dalgaları, cisim dalgaları olarak adlandırılırlar ve bu dalgalar, yerin

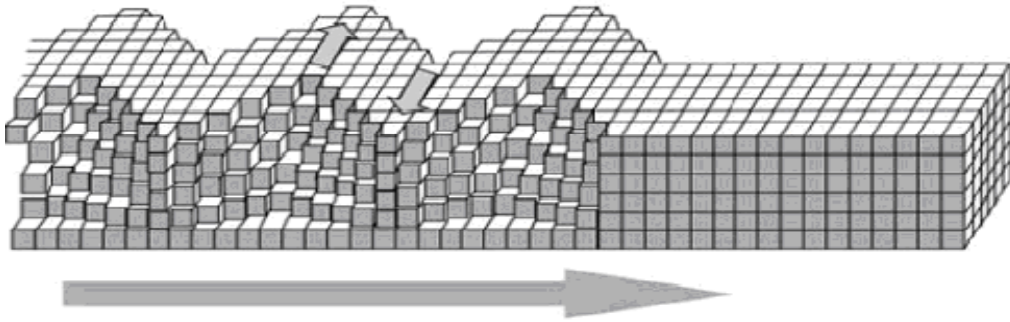
içinde ilerlerler. Love ve Rayleigh dalgaları ise, yer kabuğu üzerinde seyahat ederler ve genlikleri derinlere indikçe azalır. Bu dalgalar yüzey dalgaları olarak adlandırılırlar. Yüzey dalgaları, yer – hava ara yüzeyinde yayılan dalgalardır (Shearer 1999). Yüzey dalgaları çok uzak mesafelerde bile kaydedilebilen dalgalar oldukları için, bu dalgaların faz hızı ve dispersiyon eğrileri karakteristikleri kullanılarak kabuk ve üst manto yapıları incelenebilmektedir (Aki and Richards 1980). Böylece incelenen alana ait tabakaların özellikleri hakkında bilgi edinilir.

### Rayleigh Dalgası



Şekil 2. 3. Rayleigh dalga hızı üç boyutlu gösterimi (Bolt, 1976)

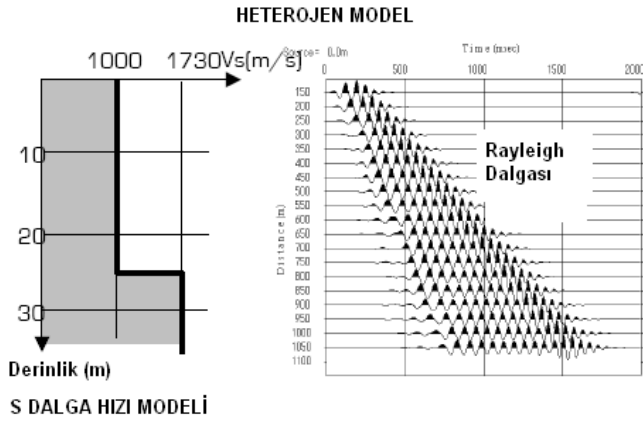
### Love Dalgası



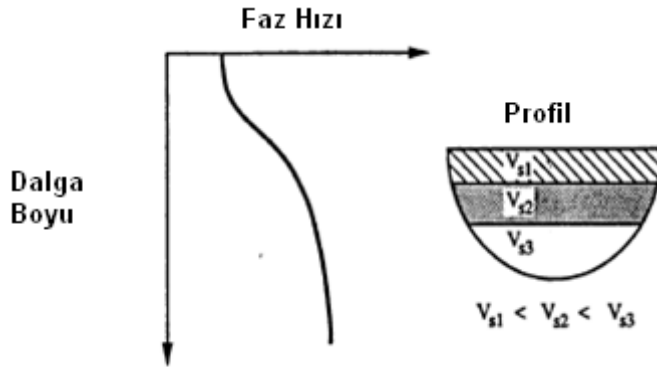
Şekil 2. 4. Love dalga hızı üç boyutlu gösterimi (Bolt 1976)

Yeraltına ait S dalga hızı bilgisi, yüzey dalgalarının karakteristik özelliği olan faz hızının frekansa bağlı değişiminden yararlanarak elde edilmektedir. Uzun dalga boylu yüzey dalgası bileşenleri, kısa dalga boylu bileşenlerine göre daha derinlere nüfuz eder (Xia ve diğ. 1999). Yatay, homojen ve izotrop bir yer modeli için, Rayleigh dalgalarının oluşma şartı P ve S dalgalarının serbest bir yüzeyde

ilerlemesidir. Buna karşın, Love dalgalarının oluşması için, en az iki tabakalı ve derine inildikçe hızları artan ortamlarda yalnızca S dalgalarının ilerlemesi gerekir (Shearer 1999). (Bkz. Şekil 2. 5. ve Şekil 2. 6.)

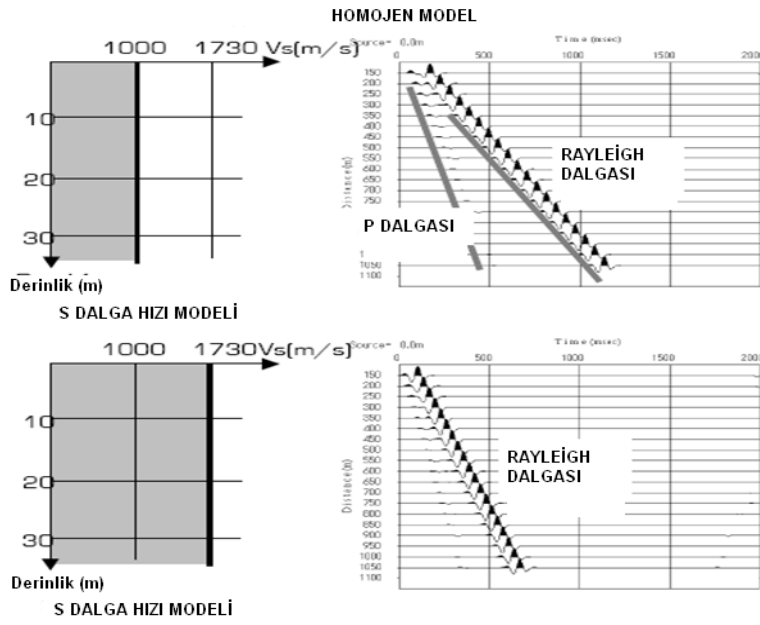


Şekil 2. 5. Heterojen Ortam

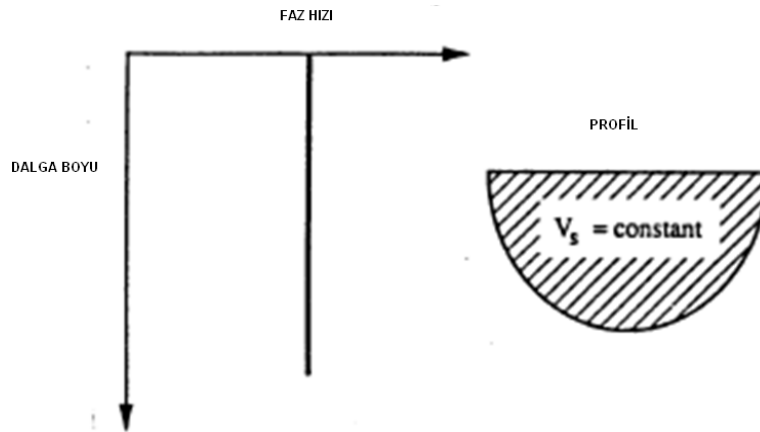


Şekil 2. 6. Derine inildikçe hızları artan heterojen ortam

Bu nedenle de, elde edilen dispersiyon eğrisi, Rayleigh dalgasına aittir. Rayleigh dalgası, serbest yüzey boyunca, yarı sonsuz bir ortamda ilerleyen parçacıkların eliptik ve saat yönünün tersine bir hareket gösterdiği yüzey dalgasıdır. Yeraltının bir-boyutlu, yatay ve homojen tabakalardan oluştuğu kabulü yapılırsa, Rayleigh dalgasına ait bu dispersiyon eğrisi, tabakanın kalınlığı ( $h$ ), yoğunluğu ( $\rho$ ) ve P ve S dalga hızlarına bağlıdır. (Bkz. Şekil 2. 7. ve Şekil 2. 8.)



Şekil 2. 7. Homojen Model



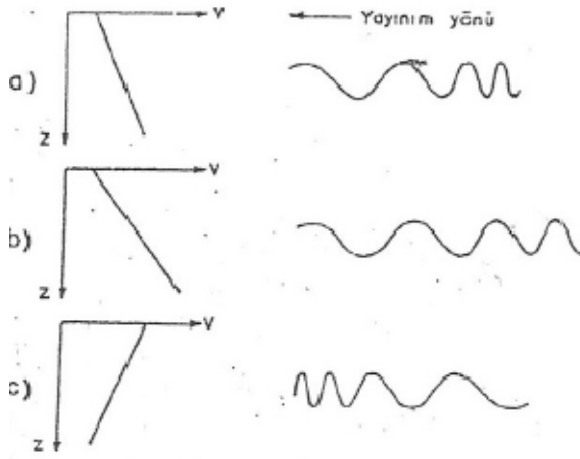
Şekil 2. 8. Homojen ortamda dispersiyon durumu

## 2.1. Dispersiyon

Yüzey dalgaları, homojen ve izotropik yarı sonsuz ortamdaki Rayleigh dalgaları hariç, frekansa bağlı olarak yüzey boyunca belirli bir hız dağılımı gösterirler. Bu hız dağılımındaki dalga paketinin farklı faz hızlarıyla hareket etmesine dispersiyon denir (Aki and Richards 1980). Yüzey boyunca dispersiyona uğrayan yüzey dalgalarının hızları frekans ya da periyoda bağlıdır. Dispersiyon kuramı, sığ yer yapısının bir fonksiyonu olduğundan, sığ yer ile ilgili bilgiler dispersiyon eğrisinden elde edilebilir

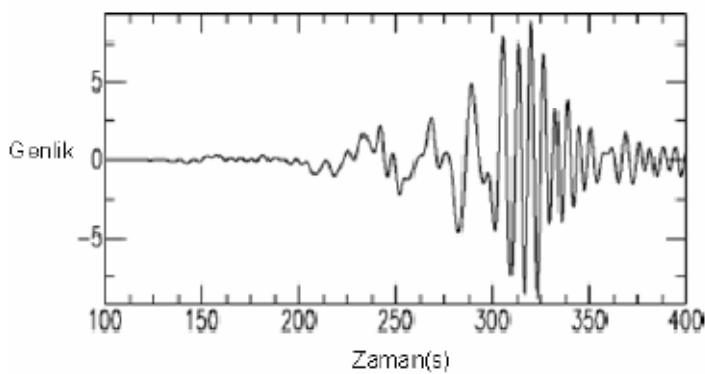


(Okada 2003). Derinliğe göre sismik hızdaki değişme miktarı arttıkça dispersiyonda artacaktır.



Şekil 2. 9. Dispersiyon a) Düşük hız değişimi ve küçük dispersiyon b) yüksek hız değişimi ve büyük dispersiyon, c) Ters dispersiyon (Bath 1973)

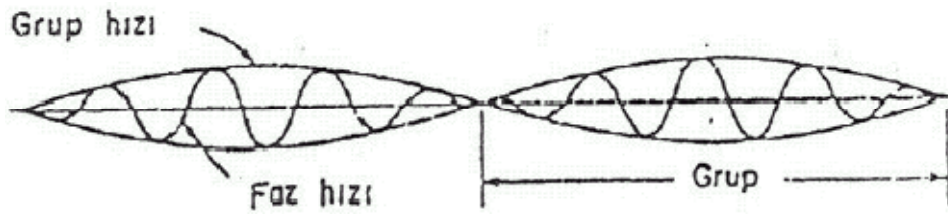
Yüzey dalgalarının frekansa bağlı hızlarına faz hızı denir. Frekansa karşılık faz hızları çizildiğinde o yüzey dalga türüne ait dispersiyon eğrisi elde edilir. Bir kaynaktan çıkan sinyal, bulunulan yerden daha uzaklarda kaydedildiğinde, sinyal üzerindeki dispersiyonun etkisi daha da dikkat çeker.



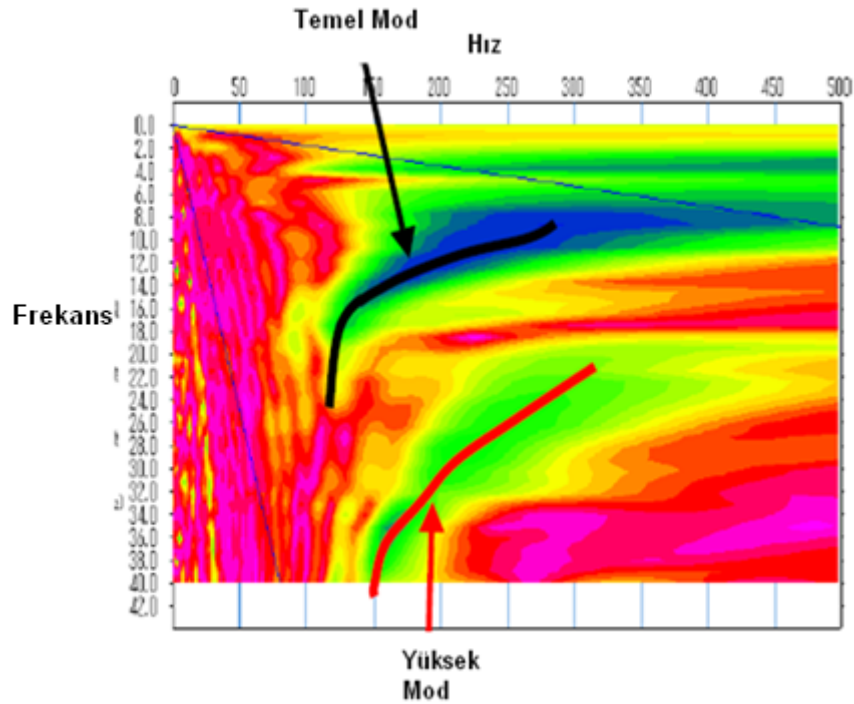
Şekil 2. 10. Missouri'de (Gulf kıyası yakınları, Alabama) kaydedilmiş, bir depremin yarattığı dispersif Rayleigh dalgası (<http://eqseis.geosc.psu.edu>, Ocak, 2009)

### 2.1.1. Faz hızı ve grup hızı

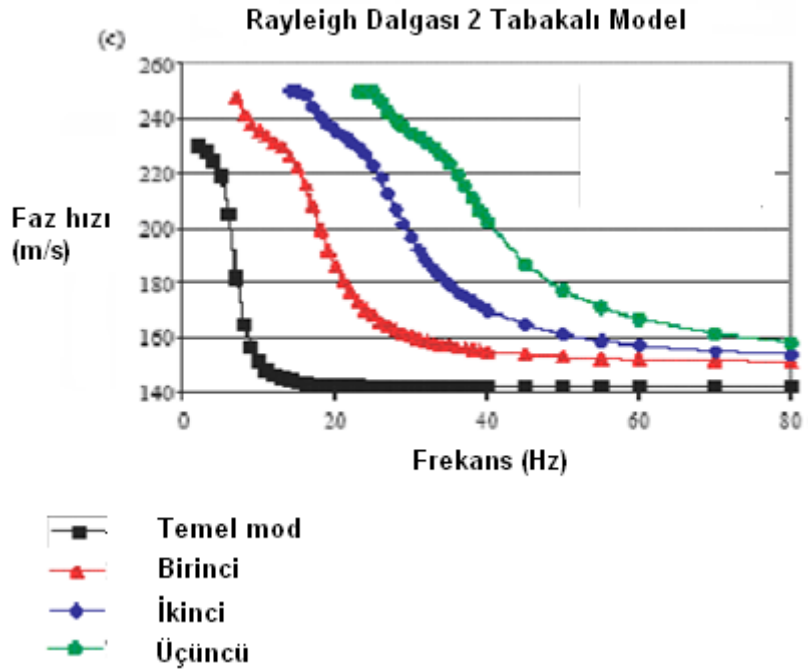
Faz hızı ( $c$ ) dalga treni ya da dalga paketi üzerindeki herhangi bir fazın yani noktanın ilerleme hızıdır (3. 1. 1. ). Başka bir deyişle, genel dalga denklemindeki  $V$  hızı veya  $P$  veya  $S$  dalgalarına karşılık gelen  $V_p$ ,  $V_s$  hızı olsun. Bunlar faz hızı olarak bilinirler. Çünkü bunlarda tepe ve çukur gibi sabit fazlı bir nokta tarafından birim zamanda kat edilen uzaklık söz konusudur. Bu durumda hız, yayılma doğrultusundaki her noktada değişeceğinden, bu değişim frekansa bağlı dispersiyona neden olacaktır (Şekil 2. 12. ). Frekans ve dalga sayısı vektörü, sismik yüzey dalgalarının yayılımını ve dispersiyon ilişkisini ortaya koyar. Frekansın bulunması, faz hızlarının hesaplanabilmesine olanak sağlar.



Şekil 2. 11. Faz hızı ve grup hızının gösterimi (Osman Şahin 1989)

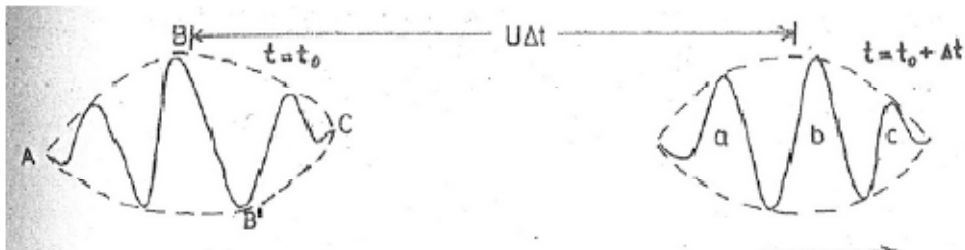


Şekil 2. 12. Faz hızı eğrisinin özellikleri (Sageep 2003)

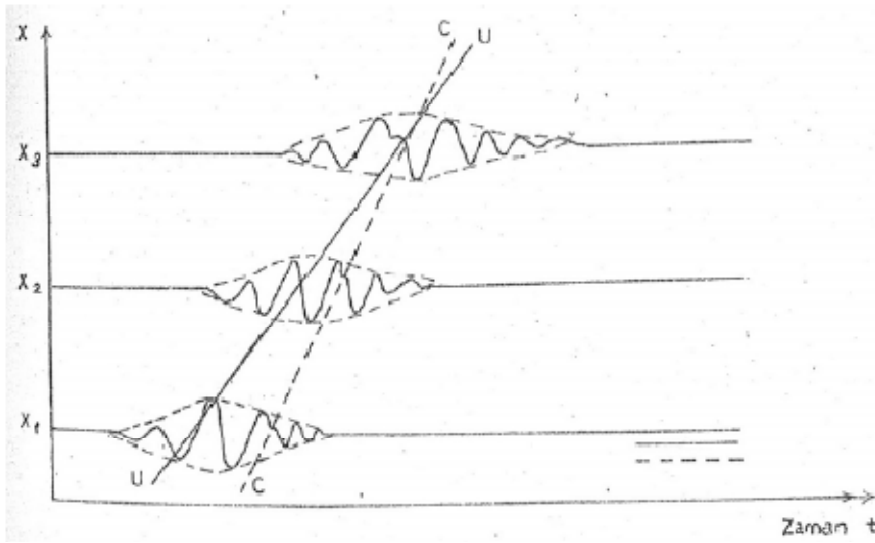


Şekil 2. 13. Rayleigh dalgalarından elde edilen dispersiyon eğrisi (Sageep 2003)

Grup hızı ( $u$ ) ise dalga paketinin ya da dalga grubunun tamamının yayılma hızıdır (Kovach 1978). Enerjinin hareketi grup hızı ile hareket eder (Şekil 2. 14. ). Yani grup hızı enerjinin yayılma hızıdır. Dalga paketi ile tanımlanan grup hızı frekans ile faz hızının değişimine ve ortam parametrelerine de bağlıdır. Eğer frekans ile hız değişmiyorsa yani dispersiyonun gerçekleşmemesi durumunda faz hızı ile grup hızı aynı olacaktır. Normal dispersiyon olayının gerçekleşmesi durumunda yani faz hızının periyodu ile artması durumunda grup hızı faz hızından küçüktür (Şekil 2. 15. ). Ters dispersiyon halinde faz hızı frekans ile azalır ve bu durumda grup hızı faz hızından büyüktür.



Şekil 2. 14. Grup hızı tanımı (Kara 1992)



Şekil 2. 15. Normal dispersiyon gösteren bir dalğanın birbirini izleyen üç ayrı noktadaki durumu. Grup hızı ( $u$ ) ve faz hızı ( $c$ ), sırasıyla  $uu$  ve  $cc$  doğrularının eğimleri ile verilirler (Kara 1992).

### 2.1.2. Yüzey dalgalarının yayılım özellikleri

Düzlem dalgaların homojen ve izotrop iki tabakalı yarı sonsuz ortam için yüzey dalgalarının yayılımı, dik koordinat sisteminde  $x$  yatay doğrultuda yayılım yönünü, düşey eksen  $z$  aşağı doğru pozitif olarak derinliği göstermek üzere  $w$  frekansına bağlı olarak;

$$U = Axep(i(kx-wt)) \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntı aşağıda verilen üç sınır koşulu ile çözümlenir.

- 1) Serbest yüzeyde (yeryüzü,  $z=0$ ) kesme gerilmeleri sıfırdır.
- 2) Ara yüzeyde ( $z=H$ ) yer değiştirmeler süreklidir.
- 3) Ara yüzeyde gerilmeler süreklidir.(Osman Şahin, 1989)

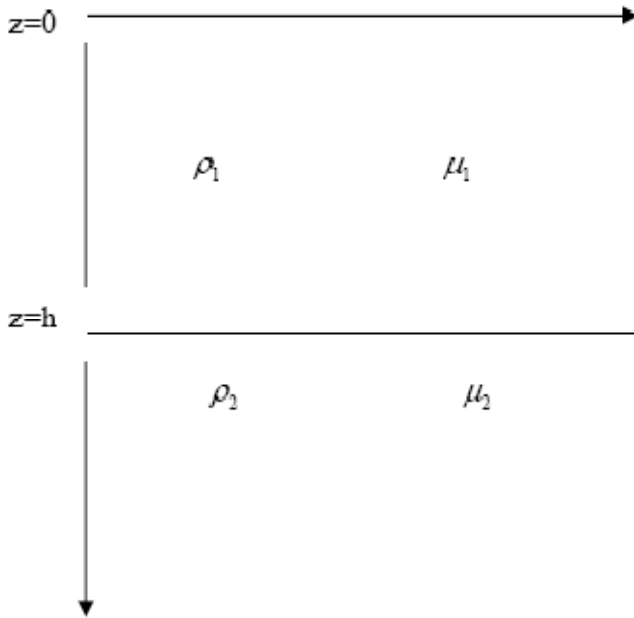
Bu koşullar altında rastgele seçilecek bir  $w$  frekansı ve  $k$  dalga sayısı için (2. 1) denkleminin doğrudan çözümü yoktur. Bununla birlikte, verilen bir  $w$  frekans  $k_n(w)$  gibi özel bir değer alıyorsa çözüm bulunabilir. Verilen bir  $w$  için birden çok  $k$  değeri

için yukarıda verilen denklemin çözümü olabilir. Burada  $k_n(w)$  bir öz değer, buna karşılık gelen çözüm ise öz fonksiyon olarak adlandırılmaktadır (Aki ve Richards, 2002). Dolayısıyla verilen bir  $w$  frekansı için yüzey dalgaları  $k_0(w)$ ,  $k_1(w)$ ,  $k_2(w)$  gibi farklı dalga sayıları belirlenmiş olmaktadır.

Diğer bir ifadeyle, faz hızları;

$$(c_n = w/k_n) \quad (2.4)$$

verilen bir frekans için durağandır.

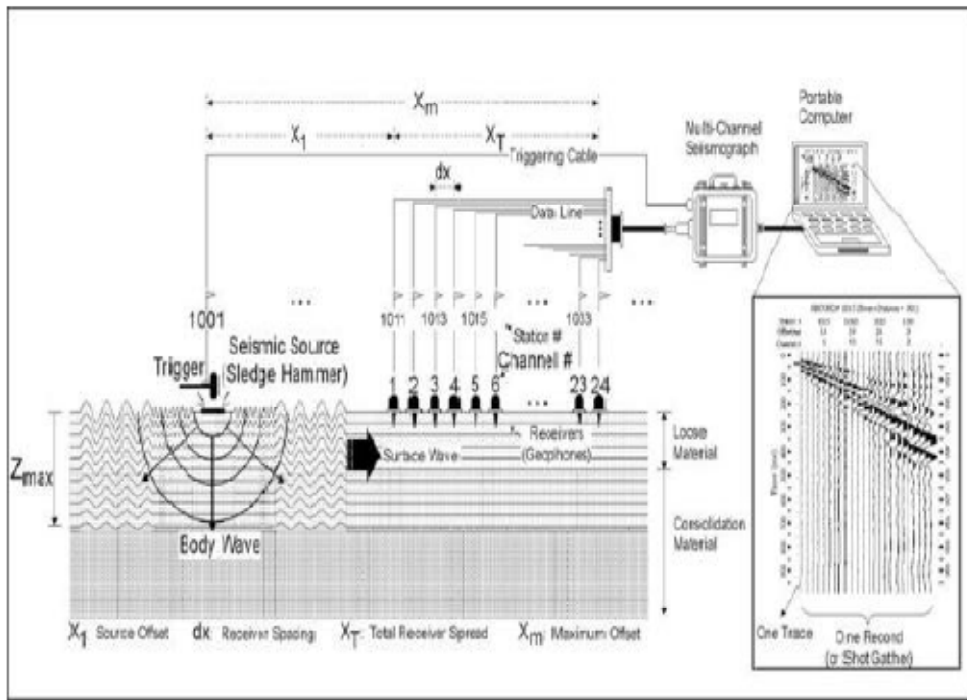


Şekil 2. 16. İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli ( $\rho$ =yoğunluk,  $\mu$ =rijidite)( Osman Şahin 1989)

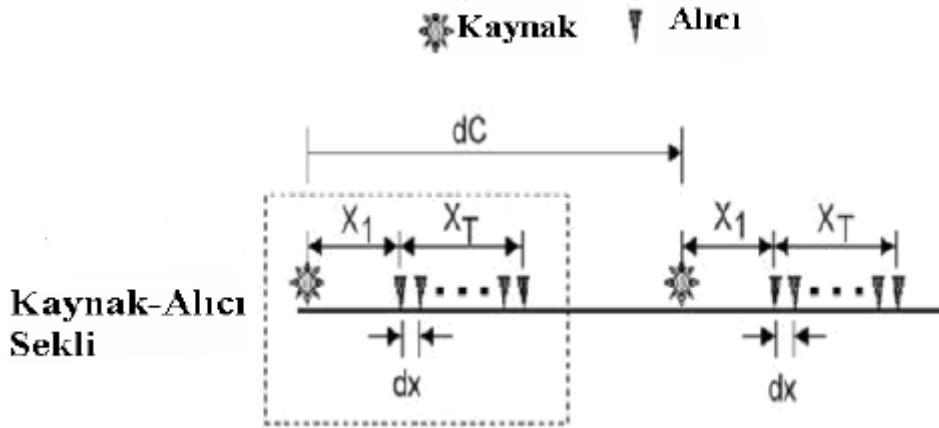
Rayleigh ve Love dalgaları için dalga denklemleri yukarıda belirtilen sınır koşulları altında çözülmelidir. Love dalgaları tabakalı ortamlarda, Rayleigh dalgaları ise homojen yarı sonsuz bir ortamda aynı zamanda tabakalı ortamlarda da oluşabilir. Tüm bu kavramlar dikkate alınarak her iki tür yüzey dalgası için yayılım özelliklerini belirleyen periyot denklemleri oluşturulabilir.

## 2.2. Günümüzde Sık Kullanılan Yüzeysel Dalgası Yöntemleri

Yer içindeki tabakaların özelliklerini ve parametrelerini belirlemede kullanılan sismik kırılma, yansıma ya da sondaj yöntemlerine ek olarak geliştirilen yüzeysel dalgası yöntemleri ile Rayleigh dalgası kayıtlarını inceleyerek yerin S dalga hız yapısı belirlenmeye çalışılır. Yüzeysel dalgası yöntemleri aktif ve pasif kaynaklı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif kaynaklı yöntemlerden ilki, Yüzeysel Dalgalarının Spektral Analizi Yöntem (SASW - Spectral Analysis of Surface Waves) (Nazarian and Desai 1993, Kramer 1996 Zyicki 1999), ikincisi ise Yüzeysel Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemidir (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park *et al.* 1999).



Şekil 2. 17. Yüzeysel dalgalarının çok kanallı analiz yönteminin arazi aşaması (Anonim 2007)



Şekil 2. 18. Kaynak alıcı şeklinin tanımı (Anonim 2007)

$dC$ : İki kaynak arasındaki mesafe

$X_1$ : Ofset aralığı

$dx$ : Alıcılar arasındaki mesafe

$X_T$ : Açılan alıcıların toplam uzunluğu

Pasif kaynaklı yöntemler ise sırasıyla, Kırılma-Mikro tremor (ReMi-Refraction-Micro tremor) (Louie 2001), f-k (Frekans-Dalga Sayısı) (Capon 1969, Capon 1973, Schmidt 1986) ve Uzaysal Özilişki Yöntemleri'dir (SPAC-Spatial Autocorrelation) (Aki 1957). Tezde kullanılan yöntem SPAC yöntemi olduğundan bir sonraki bölümde doğrudan bu yöntem anlatılacaktır.

Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleri kullanılarak yerin S dalga hız yapısı belirlenebilir. Bunun için iki adım vardır. Bunlardan birincisi incelenen alana ait dispersiyon eğrisinin belirlenmesidir. Yüzey dalgası yöntemlerinin tümünde amaçlanan, incelenen alana ait dispersiyon eğrisini elde etmektir. Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi tüm yöntemler için farklıdır. İkinci adım ise ters-çözüm işlemidir. Bu işlem sırasında, dispersiyon eğrisinden yararlanılarak 1B ortama ait tabaka parametreleri, hız-derinlik değerleri elde edilmektedir.

SASW yöntemi, aktif kaynaklı yöntemlerden biri olduğundan yapay kaynak kullanılır. Biri kaynağa yakın diğeri kaynaktan uzak olacak şekilde iki jeofon yerleştirilerek düzenek hazırlanır. Arazide veri toplandıktan sonra, dispersiyon eğrisini elde etmek için alıcı çiftlerindeki kayıtlar ayrı ayrı kullanılır. Her bir alıcı çiftinde kaydedilen verilerin Fourier transformu alınır. Güç spektrumları ve uyum fonksiyonları hesaplanır. Her bir jeofonda kaydedilen sinyallerin spektrumlarından yararlanarak faz farkı alınır. Buradan da faz hızı hesabı yapılır. Hesaplanan faz hızları ile Rayleigh dalgasına ait faz hızı dispersiyon eğrileri elde edilir. Faz hızını belirlemek, cisim dalgalarının ve gürültülerin etkisini azaltmak için farklı alıcı mesafeleri kullanılmalıdır. Bu yöntemde kullanılan farklı alıcı mesafeleri için birden fazla atış yapmak gerekir. Bu da veri toplanmasında zaman kaybına ve yüksek modların temel moddan ayırt edilememesine neden olur. Bu tür sorunları gidermek için birden fazla alıcı ile kayıt almayı sağlayan ve birçok kez yapmamız gereken işlemi bir kerede yapabilmemizi sağlayan yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yöntemi (MASW) geliştirilmiştir (Park ve diğ.1999). Uzaklık-zaman ortamında kaydedilen her bir alıcıdaki dalga alanındaki soğrulma ve geometrik yayılma etkisini gidermek amacıyla düzeltme işlemi uygulanır. Böylece her alıcıda elde edilen sinyal analizlerde eşit olarak ağırlıklandırılmış olur. Bu işlemle, genliğin etkisi giderilerek, faz bilgisinin ağırlıklandırılması sağlanmış olur. Her frekansa karşılık belirli bir aralıkta değişen hızlar kullanılır.

ReMi yönteminin amacı ise, doğal kaynaklı gürültüler ile 100 metre derinliğe kadar S-dalgası hız kesitinin elde edilmesidir (Louie 2001). Veri toplama için kırılma yönteminde kullanılan standart kayıtçılar ve düşey jeofonlar kullanılır. Kullanım amacı, uzay-zaman ortamındaki veriden yansımaları, kırılmaları, kırınımları ve yüzey dalgalarını ayırabilmektedir.

McMechan and Yeldin (1981), bölüm 2.3.3 de değinilecek olan  $p$ - $\tau$  (Radon) dönüşümünü kullanarak dispersiyon eğrisini elde etmişlerdir. Daha sonra Louie (2001) tarafından değiştirilerek kullanılan bu dönüşüm pasif kaynaklı çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır.  $p$ - $\tau$  dönüşümü ile yapılan analizler, sismik kırılma çalışmalarında olduğu gibi, bir-boyutlu bir dizilim gerektirir.



Pasif kaynaklı yöntemlerden ikincisi f-k yöntemidir. Bu yöntemin ReMi'ye göre en belirgin farklılığı, arazi ölçü alım şeklinin dairesel bir dizilimle yapıyor olmasıdır. f-k yöntemi kullanılarak yapılan veri işlem aşamalarında f-k spektrumu kullanılır. Bu yöntem, çoklu istasyonların oluşturduğu dizilimlerle toplanan titreşim verisini ele alır. Toplanan veriyi bir araya getirir ve yüksek güçteki dalganın yönü ve hızını belirler (Okada 2003).

### 2.2.1. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinin teorik esasları

Uzaklık-zaman ortamında kaydedilen sinyallere uygulanan basit bir dalga alanı dönüşümü ile dispersiyonu oluşturmak mümkündür.  $U(x,t)$  uzaklık-zaman ortamında kaydedilen sinyal ise, zaman üzerinden uygulanan Fourier dönüşümü ile elde edilen

$$U(x, \omega) = \int u(x, \omega) e^{i\omega t} dt \quad (2.5)$$

olarak gösterilebilir.

Frekans ortamına aktarılan sinyaller,  $P(x, \omega)$  faz spektrumu ve  $A(x, \omega)$  genlik spektrumu olmak üzere,

$$U(x, \omega) = P(x, \omega) A(x, \omega) \quad (2.6)$$

ile ifade edilir.  $\omega$ , radyan cinsinden frekansı göstermektedir.

Dalga alanı, alıcılara belirli bir zaman farkı ile ulaşacaktır ve faz spektrumu, bu varış zamanları ile ilgilidir. Faz spektrumu, dispersiyon ile ilgili bilgileri içerirken; genlik spektrumu, soğrulma ve geometrik yayılma ile ilgili bilgileri içerir.

Bu bilgiye dayanarak, frekans ortamına aktarılan veri,

$$U(x, \omega) = e^{-i\phi x} A(x, \omega) \quad (2.7)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada,  $\phi$ , faz kaymasıdır.

Dalga sayısı;

$$k = \omega/c(\omega) \quad (2. 8)$$

olarak tanımlanırsa, uzaklık üzerinden uygulanan entegral işlemi ile

$$V(\omega, k) = \int e^{ikx} [U(x, \omega) / U(x, \omega)] dx = \int e^{-I(\Phi-k)x} [A(x, \omega) / A(x, \omega)] dx \quad (2. 9)$$

elde edilir. (Park vd. , 2002).

Her bir alıcıdaki dalga alanından soğrulmanın ve geometrik yayılmanın etkilerini gidermek amacıyla,  $U(x, \omega) / U(x, \omega)$  şeklinde, bir düzeltme işlemi uygulanmaktadır. Böylece, her bir alıcıdan elde edilen sinyaller, analizlerde eşit olarak ağırlıklandırılmış olur. Bu işlemle, genliğin etkisinin giderilerek faz bilgisinin Her frekansa karşılık, belirli bir aralıkta değişen hızlar kullanılarak elde edilen dalga sayısı, faz kaymasına eşit olduğunda,  $V(\omega, k)$  en büyük değerini alacaktır. En büyük değer gözlemlendiği dalga sayısından da faz hızı bulunabilir.

### 2.2.2. Dizilim işleme (frekans ortamı ışın biçimlendirme) yöntemleri

Dispersif Rayleigh dalgalarından oluşan mikro tremorlerden faz hızı dispersiyon bilgisinin elde edilmesinde kullanılan bir diğer yaklaşım, dizilim işleme yöntemleridir. Dizilim işleme, yöntemlerinin mikro tremor ölçümlerindeki kullanımı ise, dalga alanı yayılımının kaydedildiği alıcılar arasında kalan ortamın hız yapısının yanı sıra, geliş açısı hakkında bilgi edinmeye dayanır.

Dalga sayısı vektörü, uzay-zaman ortamında kaydedilen sinyalin yayılım doğrultusunu ve hızını gösteren bir büyüklüktür. Herhangi bir frekansta güç spektrumunun en büyük değeri aldığı dalga sayısı bilinirse, o frekansa karşılık gelen faz hızı bulunabilir. Mikro tremorlerin kullanıldığı analizlerde, frekans ortamı ışın biçimlendirme yöntemleri, hem doğrusal hem de dairesel dizilimler ile kullanılmaktadır. Doğrusal dizilim kullanıldığında, sinyalin geliş açısı veya hızı bulunabilirken iki boyutlu dizilimlerden, her iki bilgiyi de elde etmek mümkündür.

Klasik frekans ortamı ışın biçimlendirme yöntemi, bir boyutlu (doğrusal) dizilimler kullanıldığında, frekans dalga sayısı dönüşümüne karşılık gelir. Uygulanan Fourier dönüşümü ile zaman-uzay ortamındaki dalga alanı, frekans dalga sayısı ortamına aktarılır. Frekans ortamı ışın biçimlendirmede amaç, güç spektrumunun en büyük değeri aldığı frekans dalga sayısı çiftinin belirlenebilmesidir. Özellikle pasif kaynaklı çalışmalarda, dalga sayısının çözünürlüğü önemlidir. Mikro tremorlerin, her doğrultudan yayınıyor olabileceği düşünülürse, olası dalga alanlarının genliklerinin eşit olması ihtimali düşüktür. Genlikleri farklı olan dalga alanları söz konusu olduğunda da benzer saçılmalar olmasına karşın, gözlenen faz hızları, gerçek dispersiyon eğrileri ile daha uyumludur (Bozdağ 2002). Yapılan çalışmalar dizilimin yarıçapı ve alıcı sayısı arttırıldığı zaman elde edilen sonuçlar, gerçek dispersiyon eğrisinin yaklaşık olarak bulunabileceğini göstermiştir.

Yani klasik frekans ortamı ışın biçimlendirme yöntemi ile gerçek dispersiyon eğrileri elde etmek için dizilim boyutları önemlidir. Yüzey dalgalarının yüksek modlarının oluşması, kullanılan kaynağın özelliklerine ve derinliğine bağlıdır. Kaynak olarak mikro tremor kullanılırken yüksek modlarla sık sık karşılaşmamaktadır. Çünkü mikro tremorlerin, büyük bir oranda yüzey dalgalarından, özellikle Rayleigh dalgasının temel modundan oluştuğu varsayılmaktadır. Rayleigh dalgalarının yüksek modları, temel modun faz hızından daha yüksek hızlara sahiptir. Yüksek mod dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi, S dalga hız yapısı bulunurken yapılan ters çözüm işlemlerine olan katkısından dolayı önemlidir (Xia vd. , 2005).

### 2.2.3. Işın parametresi-kesme zamanı ( $p, \tau$ ) dönüşümü

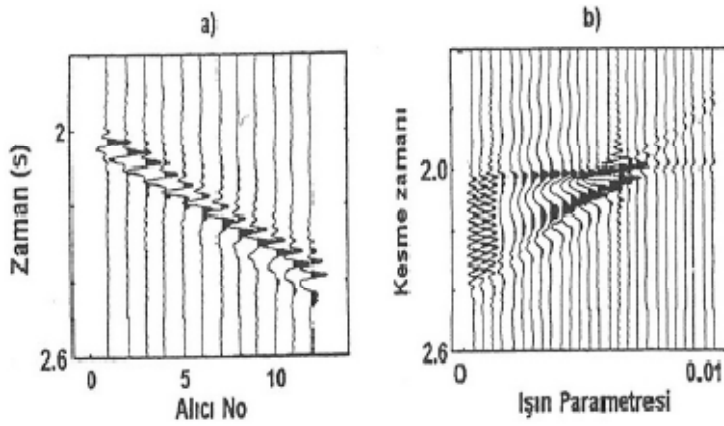
Işın parametresi-kesme zamanı dönüşümünün kullanım amacı, uzay-zaman ortamındaki veriden yansımaları, kırılmaları, kırınımları ve yüzey dalgalarını ayırabilmektir. Zaman-uzaklık ( $x, t$ ) ve ışın parametresi-kesme zamanı ( $p, \tau$ ) arasındaki ilişki,

$$t = \tau + px \quad (2.10)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

$\tau$ , kesme zamanı,  $p$  ise ışın parametresi ya da yatay yavaşlık olarak tanımlanır. Yukarıdaki denklem seyahat zamanı eğrisindeki herhangi bir noktaya çizilen, eğimi  $p$  ve zaman eksenini kestiği nokta  $\tau$  olan, bir doğruya karşılık gelmektedir. Işın parametresi ise, zaman-uzaklık eğrisinin türevini alarak elde edilebilir. Sismik gürültü verisine ilk uygulanan veri işlem  $p - \tau$  dönüşümüdür. Bu dönüşümün sismik yöntemlerdeki uygulamalarından birini, kırılma verisinden hız analizi ile McMechan ve Yeldin (1981), vermişlerdir. Daha sonra bu dönüşümün farklı bir uygulaması olarak Louie (2001), pasif kaynaklı çalışmalarda da göstermiştir. Bir dalga alanı dönüşümü olan  $p - \tau$  dönüşümü, doğrusal dizilimler ile kullanılan frekans dalga sayısı dönüşümüne denk gelen frekans ortamı ışın biçimlendirme yöntemine teorik olarak eşdeğer gelmektedir.

$p - \tau$  dönüşümü ile yapılan analizler, sismik kırılma çalışmalarında olduğu gibi, bir boyutlu dizilim gerektirir. Yöntemin gereği olarak, dizilim geometrisi doğrusaldır. Pasif kaynakla çalışılır. Ancak pasif kaynakla çalışılırken, dalga alanının yayılım doğrultusunun belirsizliğinden kaynaklardan kaçınmak için, mikro tremor kaynağının konumu dikkate alınmalıdır. Düşük frekanslardaki çözünürlüğü arttırmak için, dizilim uzunluğunu arttırırken alıcı sayısı da arttırılmalıdır. Alıcı aralıkları seçilirken dalga sayısı katlanmasından kaçınılmalıdır. Bu sorunun giderilmesi, alıcılar arasındaki mesafenin en küçük dalga boyunun yarısından az olmasına bağlıdır (McMechan ve Ottolini, 1980). Alıcılar arasındaki mesafeyi sabit tutup, sayılarını arttırmak güç spektrumu zarfını daraltıp, dispersiyonun daha da belirgin hale gelmesini sağlar.



Şekil 2. 19. a) x-t ortamındaki veri b)  $p - \tau$  dönüşümü uygulandıktan sonra elde edilen görüntü (Acarel 2003)

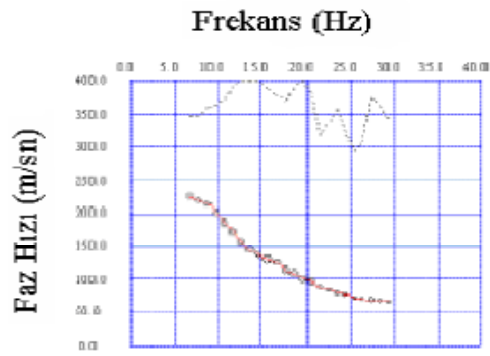
### 2.3. S-Dalgası Hız Yapısı İçin Ters Çözüm

Frekans dalga sayısı analizleri yapılarak elde edilen Rayleigh dalgası faz hızı dispersiyon eğrilerine ters çözüm uygulanarak, S dalgası hız yapısı elde edilir. Dispersiyon verilerinin ters çözümünde, genellikle yüzey dalgalarının temel modu kullanılır. Ancak tabakalı yapılarda, yüzey dalgalarının yüksek modları da gözlemlenir. Normal dispersiyon gözlenen bir ortamda, yani hızın derinlikle arttığı bir yer yapısında, yüzey dalgalarının temel modu baskın durumdadır ve temel modun kullanıldığı ters çözüm işlemlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Zywicki, 1999). Ters çözüm, model parametrelerinin matematiksel bir model ile ilişkili oldukları bir grup veriden elde edilmesidir. Ters çözüm işleminin başarılı olması, matematiksel modelin uygunluğuna ve veri grubunun kalitesine bağlıdır (Jackson, 1972). Ters çözüm işlemi, yetersiz ve gürültülü verilerden, model parametrelerini hesaplama işlemidir.

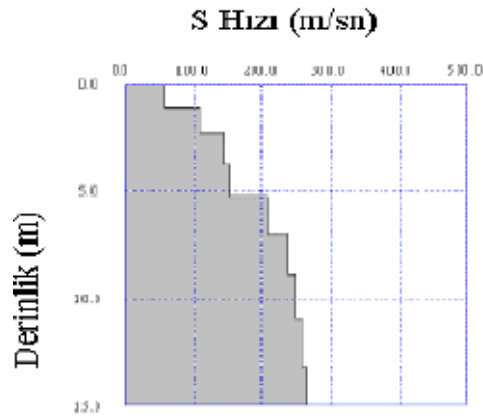
Ters çözümde başlangıç modeli ve çözümü çok önemlidir. Bunlara dikkate aldığımız takdirde gerçek çözüme yaklaşmak daha da kolaylaşacaktır. Ters çözüm bazı programlar kullanılarak yapılabilir. Günümüzde yeni cihazlarla yapılan ölçümlerden sonra ters çözüm işlemi uygulanabilmektedir.

Yüzey dalgalarının dispersiyon analizinde kullanılan yöntemlerde, düşük frekanslarda hata oranının yüksek olması ve ters çözümde derinlik arttıkça çözünürlüğün düşmesi nedeniyle derin tabakalara ait parametrelerin çözülebilirliği

azalmaktadır. Ters çözüm işlemi boyunca, tabakalar arasındaki ani hız değişimleri de ters çözümün duraylılığını bozmaktadır. Yüzey dalgaları dispersiyon verilerinin ters çözümünde, çok çözümlülük sorununu en aza indirmek için genellikle tabaka kalınlıkları ve hızlar, ters çözümde aynı anda kullanılmazlar. Tabaka kalınlıkları sabit tutularak hızlara ters çözüm uygulanır ya da hızlar sabit tutularak tabaka kalınlıklarına ters çözüm işlemi uygulanır (Hermann ve Ammon, 2002) (Şekil 2.21 ).



Şekil 2. 20. Hızın frekansa bağlı olarak değişmesi sonucu oluşan dispersiyon eğrisi (Sageep 2003)



Şekil 2.21. Dispersiyon eğrisine ters çözüm uygulayarak oluşan S dalga hız yapısının derinliğe göre modellenmesi (Sageep 2003)

## **BÖLÜM 3. UYGULAMA ÇALIŞMASI**

Bu çalışma Kocaeli ili Yeniköy, Yazlık, Gölcük, Hisareyn ve İhsaniye beldeleri sınırları dâhilinde gerçekleştirilmiştir.

### **3.1. Kullanılan Ekipman, Yöntem ve Saha Çalışmalar**

Çalışmada kayıt sistemi olarak Seistronix Ras24 marka mühendislik sismografi kullanılmıştır. Kayıtcı taşınabilir bir bilgisayar ile çalıştırılmıştır. Çalışmada Panasonic CF-72 arazi tipi taşınabilir bilgisayar kullanılmıştır.

### **3.2. Masw Çalışmaları**

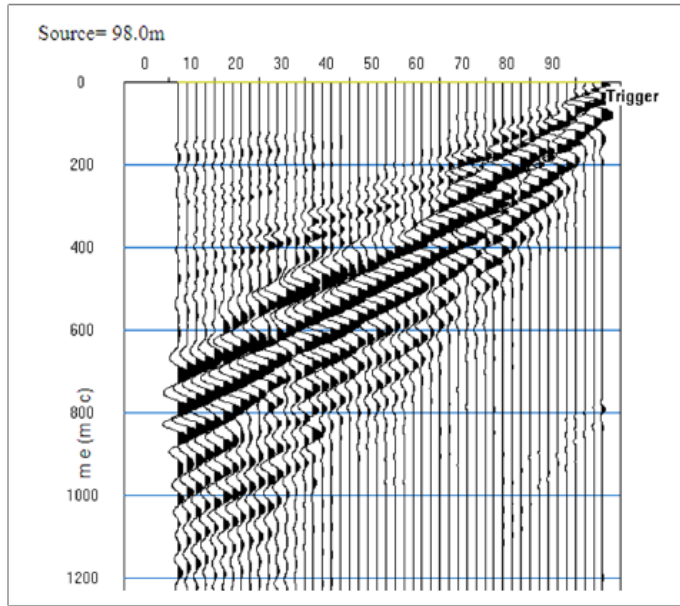
Masw (Multi Channel Analysis of surface Wave – Yüzey Dalgalarının çok kanallı analizi) tekniği, S-tipi sismik hızların düşey değişimini modellemede son yıllarda sıklıkla tercih edilen modern ve güvenilir bir tekniktir. Yöntem ana hatlarıyla Rayleigh tipi yüzey dalgalarının dispersif özelliğini kullanarak faz hızı – frekans spektrumu hesaplayıp spektrumdan belirlenen dispersiyon eğrisinin inversionu ile S tipi hız-derinlik fonksiyonunu oluşturmaktan ibarettir. Bu amaçla sahada sismik kırılma tomografisinde de kullanılan kayıtlar kullanılmıştır. Sığ sismikte yüzey dalgaları, oldukça düşük frekans bileşenlerini de içermektedir. Bu bileşenlerin kaydedilmesi derinden veri alabilmenin en önemli unsurlarından biridir ve bu nedenle veri toplamada 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ve sismikenerji kaynağı olarak ta Multi-Head-Buffalo-Gun kullanılmıştır. Veri 48 kanal olarak toplanmıştır. Jeofon aralığı ve atış ofseti 2,0 m dir.



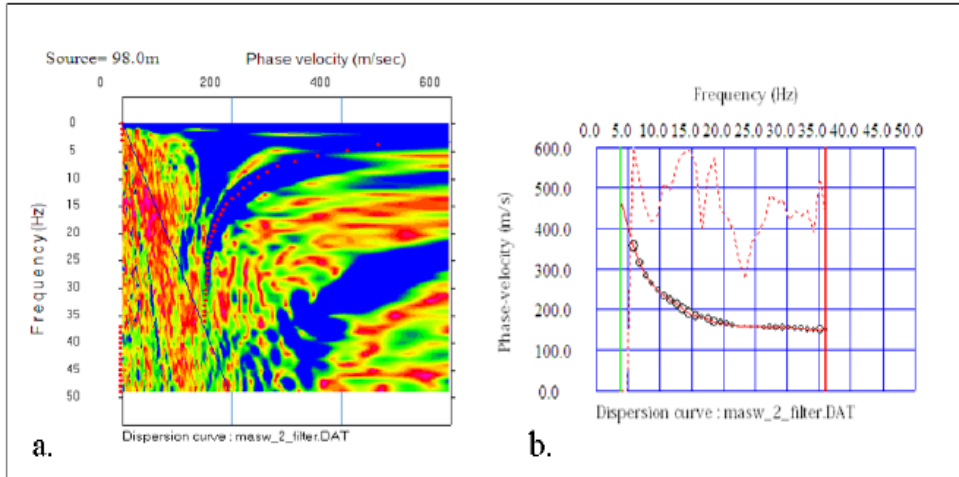
Şekil 3. 1. Çalışma alanına ait kroki



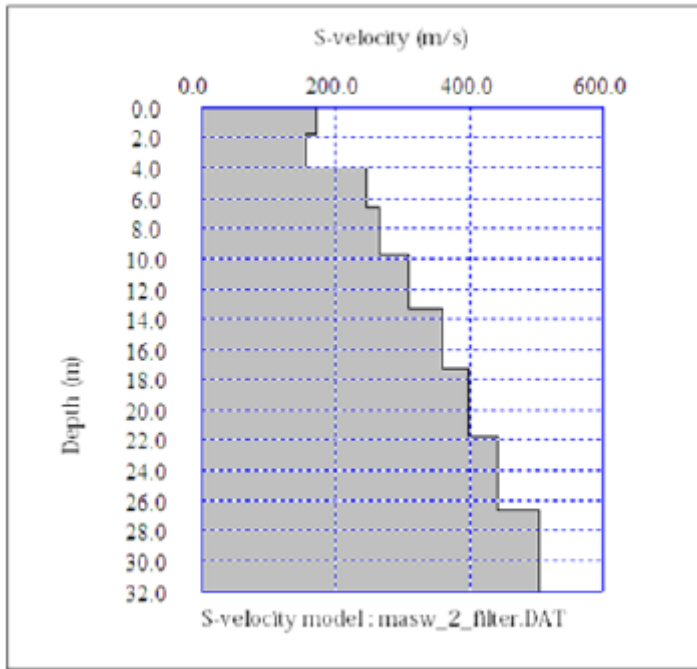
## Ks-01 Lokasyonu MASW Analizi



Şekil 3. 2. Ks-01 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir. Ofset ve Jeofon aralığı 2 şer m dir



Şekil 3. 3. Ks-01 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi. Yatay eksen frekans (Hz) düşey eksen faz hızıdır (m/sn)

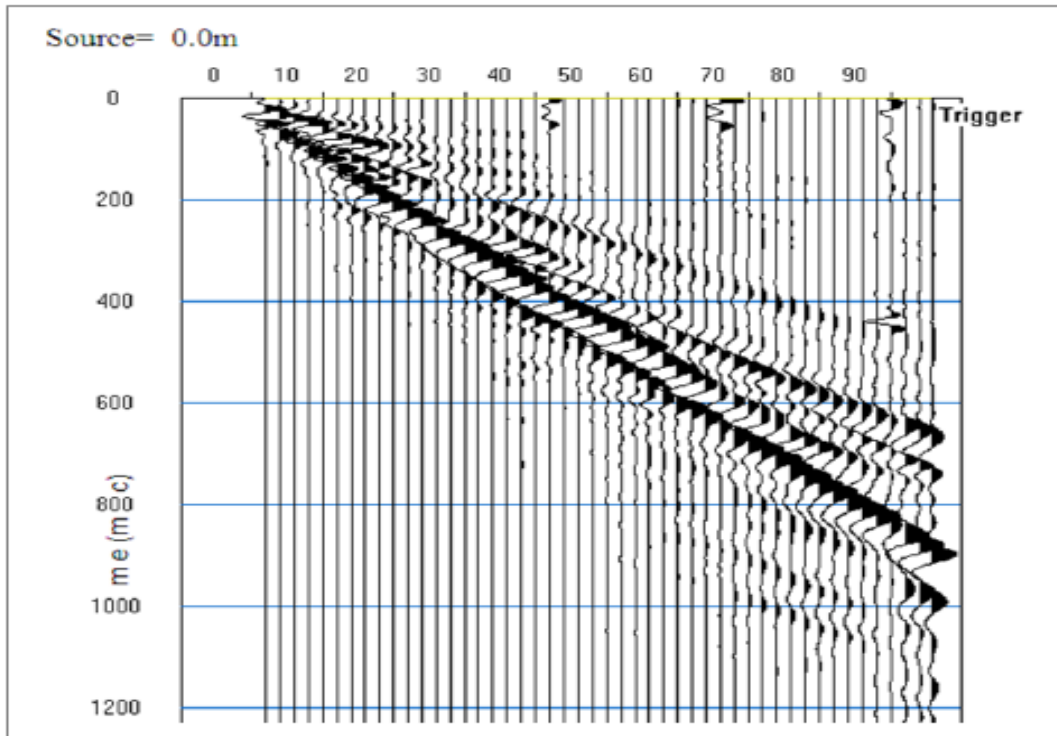


Şekil 3. 4. Ks-01 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği. Düşey eksen derinlik (m) yatay eksen S dalga hızını (m/s) göstermektedir

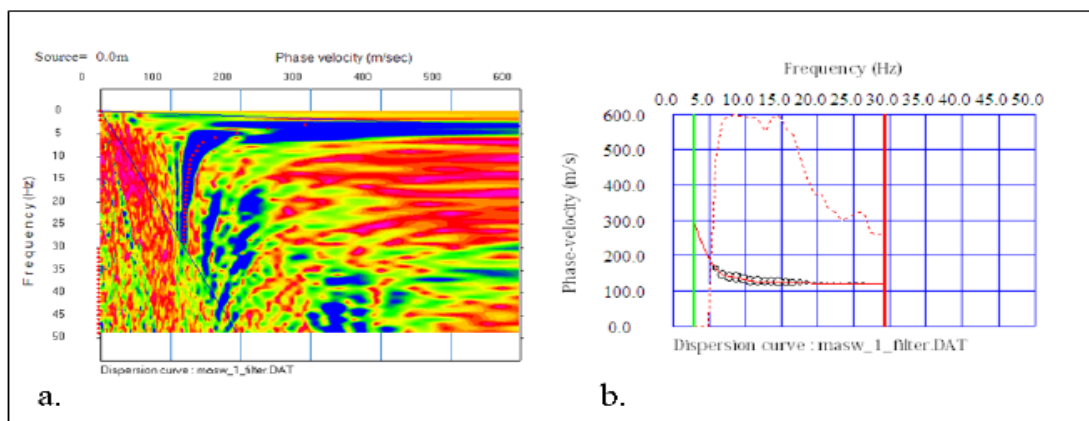
Tablo 3. 1. Ks-01 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo

Derinlik aralığı (m)	Vs (m/s)
0,0 - 1,8	171
1,8 - 4,0	155
4,0 - 6,7	246
6,7 - 9,8	265
9,8 - 13,3	309
13,3 - 17,3	358
17,3 - 21,8	399
21,8 - 26,7	442
26,7 - 32,0	503

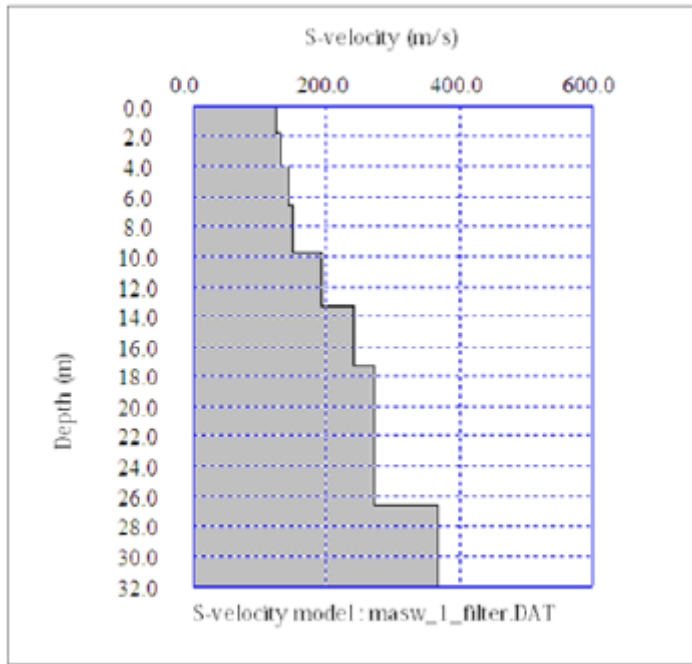
## Ks-02 Lokasyonu MASW Analizi



Şekil 3. 5. Ks-02 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeğinin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir. Ofset ve Jeofon aralığı 2 şer m dir



Şekil 3. 6. Ks-02 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi. Yatay eksen frekans (Hz) düşey eksen faz hızıdır (m/sn)

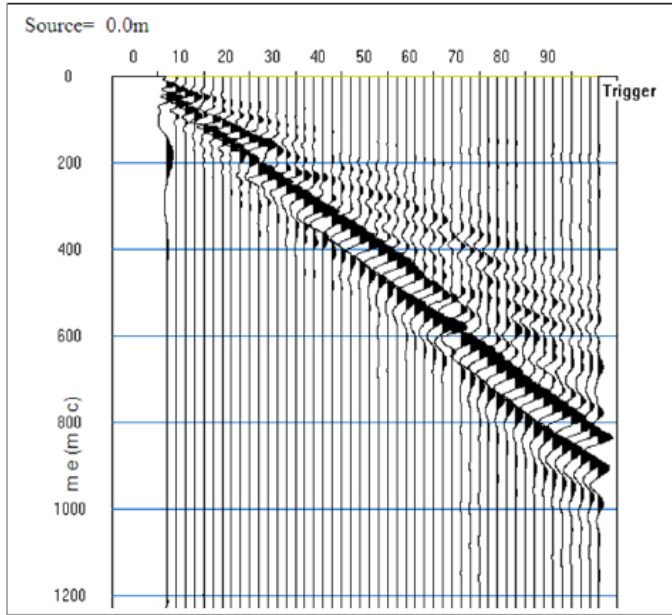


Şekil 3. 7. Ks-02 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği. Düşey eksen derinlik (m) yatay eksen S dalga hızını (m/s) göstermektedir

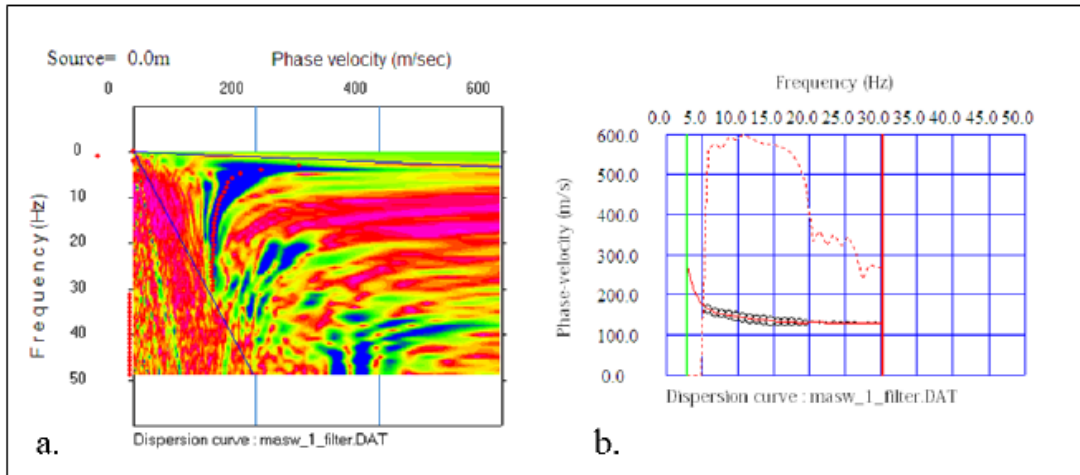
Tablo 3. 2 Ks -02 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo

Derinlik aralığı (m)	Vs (m/s)
0,0 - 1,8	125
1,8 - 4,0	131
4,0 - 6,7	142
6,7 - 9,8	150
9,8 - 13,3	192
13,3 - 17,3	242
17,3 - 21,8	272
21,8 - 26,7	271
26,7 - 32,0	368

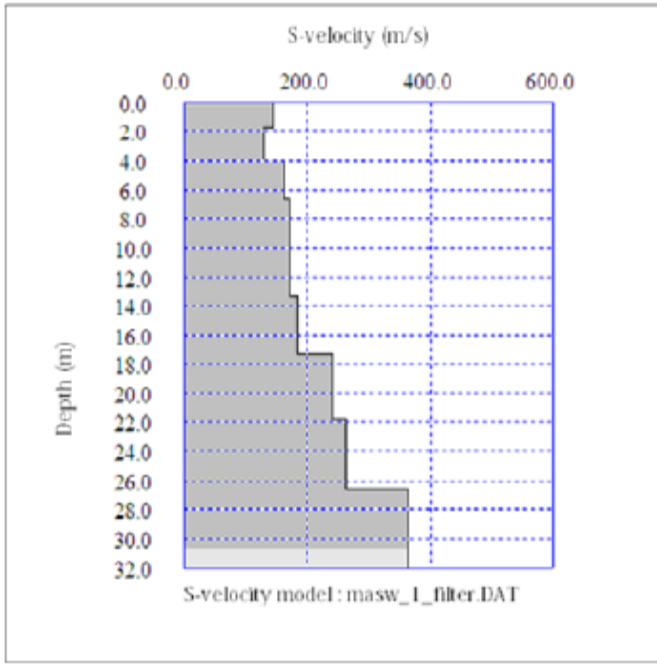
## Ks-03 Lokasyonu MASW Analizi



Şekil 3. 8. Ks-03 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4. 5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir. Ofset ve Jeofon aralığı 2 şer m dir



Şekil 3. 9. Ks-03 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi. Yatay eksen frekans (Hz) düşey eksen faz hızıdır (m/sn)

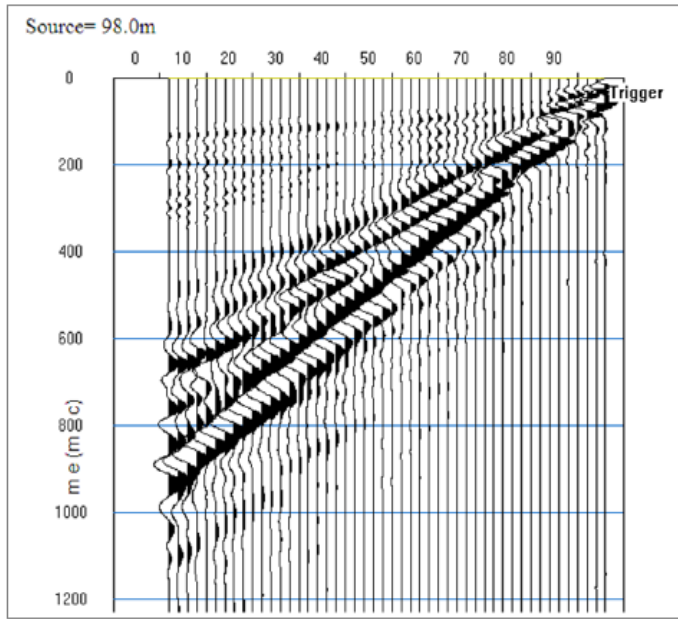


Şekil 3.10. Ks-03 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği. Düşey eksen derinlik (m) yatay eksen S dalga hızını (m/s) göstermektedir

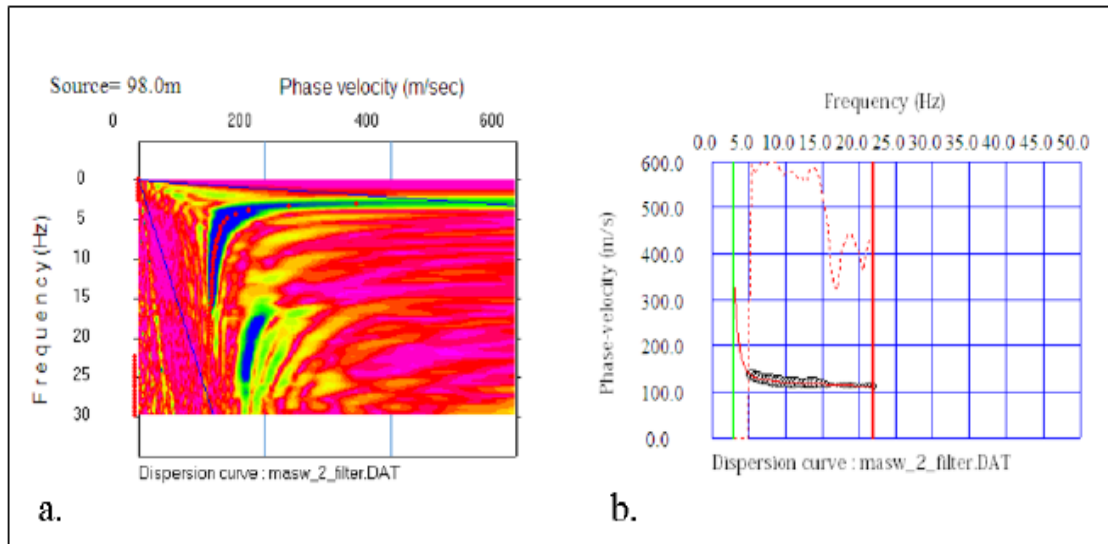
Tablo 3. 3. Ks-03 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo

Derinlik aralığı (m)	Vs (m/s)
0,0 - 1,8	145
1,8 - 4,0	129
4,0 - 6,7	163
6,7 - 9,8	172
9,8 - 13,3	172
13,3 - 17,3	185
17,3 - 21,8	241
21,8 - 26,7	263
26,7 - 32,0	363

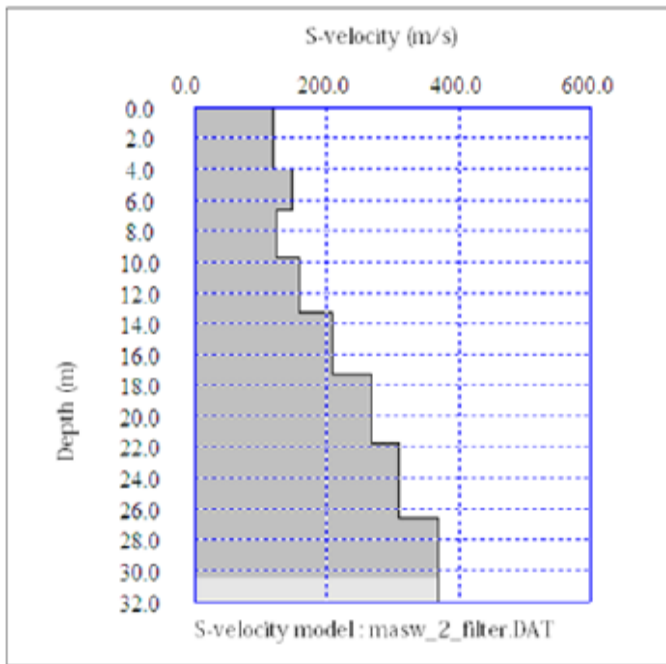
## Ks-04 Lokasyonu MASW Analizi



Şekil 3. 11. Ks-04 Lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeğinin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz band-pass filtreden geçirilmiştir. Ofset ve Jeofon aralığı 2 şer m dir



Şekil 3. 12. Ks-04 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi. Yatay eksen frekans (Hz) düşey eksen faz hızıdır (m/sn)



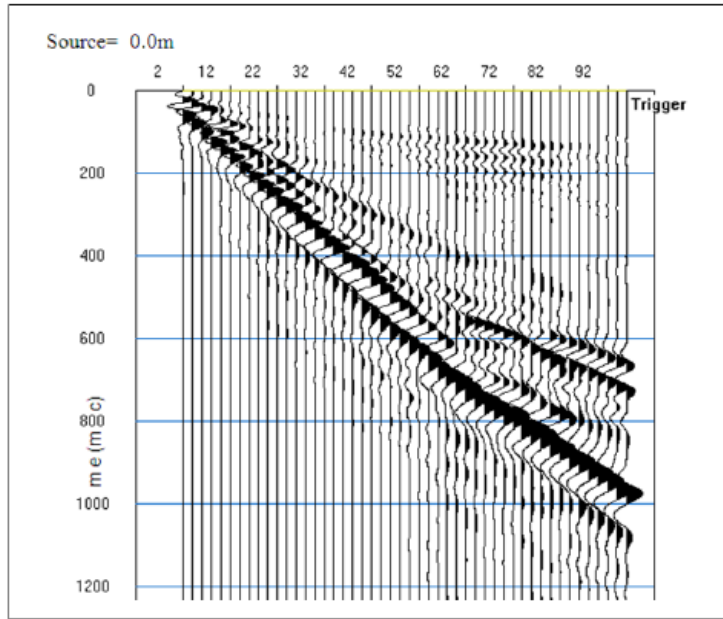
Şekil 3.13. Ks-04 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği. Düşey eksen derinlik (m) yatay eksen S dalga hızını (m/s) göstermektedir.

Tablo 3. 4. Ks-04 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo

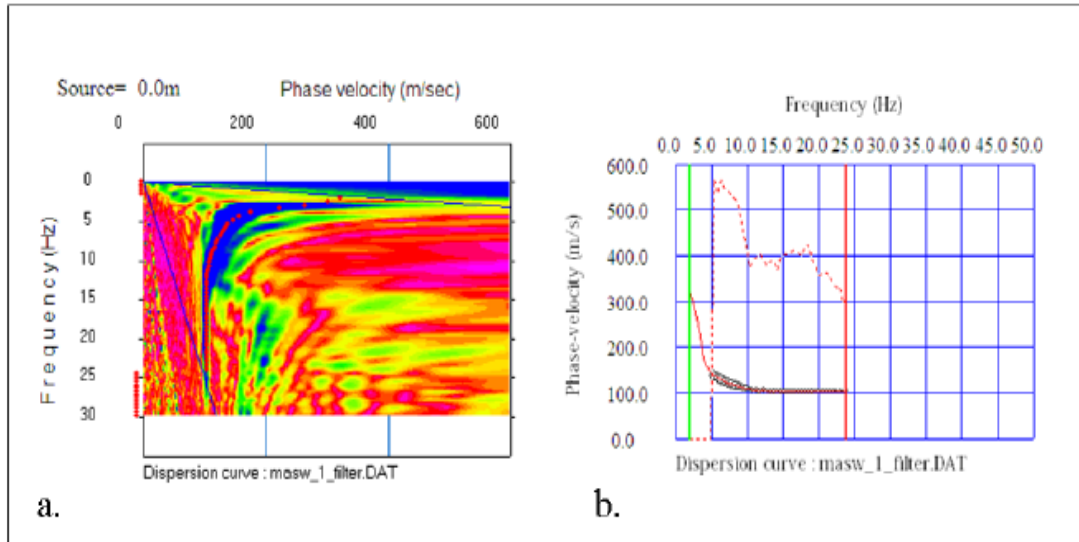
Derinlik aralığı (m)	Vs (m/s)
0,0 - 1,8	117
1,8 - 4,0	119
4,0 - 6,7	147
6,7 - 9,8	122
9,8 - 13,3	158
13,3 - 17,3	209
17,3 - 21,8	268
21,8 - 26,7	308
26,7 - 32,0	367



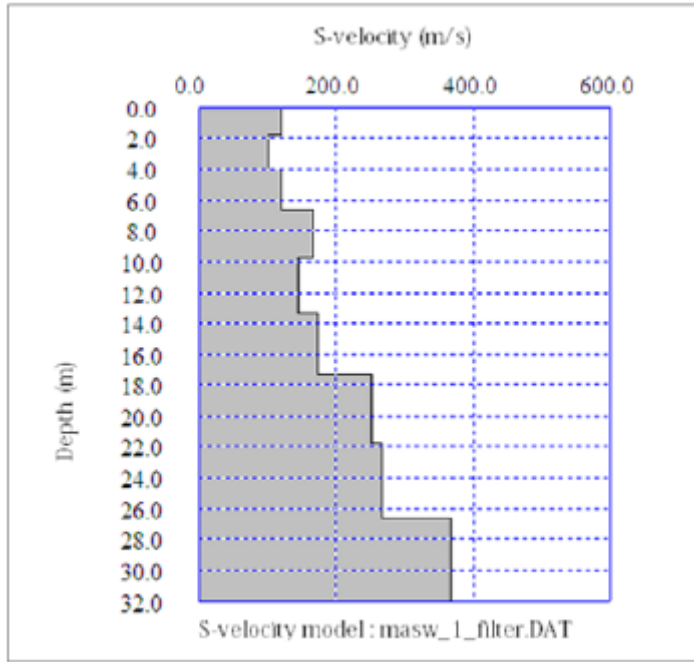
## Ks-05 Lokasyonu MASW Analizi



Şekil 3. 14. Ks-05 lokasyonunda toplanan 48 kanallı sismik kayıt. Veri toplamada enerji kaynağı olarak 18 adet avcı fişeginin eş zamanlı patlatıldığı özel bir düzenek kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı bileşenlerini kaydedebilmek amacıyla veri 4,5 Hz doğal frekanslı jeofonlar ile toplanmıştır. Örnekleme aralığı 0,5 ms ve dinleme süresi 2,0 s dir. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizinde yüksek frekansların bozucu etkisini gidermek için veri 4-40 Hz bana-Pars filtreden geçirilmiştir. Ofset ve Jeofon aralığı 2 şer m dir



Şekil 3. 15. Ks-05 lokasyonunda toplanan veriye ait (a) faz hızının frekansla değişimini gösteren dispersiyon spektrumu, (b) yüzey dalgalarının ana modunu simgeleyen dispersiyon eğrisi. Yatay eksen frekans (Hz) düşey eksen faz hızıdır (m/sn)



Şekil 3. 16. Ks-05 lokasyonu için dispersiyon eğrisinin ters çözümünden elde edilen ve sonuç ürünü olan S tipi hız/derinlik değişim grafiği. Düşey eksen derinlik (m) yatay eksen S dalga hızını (m/s) göstermektedir

Tablo 3. 5. Ks-05 lokasyonu için derinliğe bağlı olarak hızların değişimini gösteren tablo

Derinlik aralığı (m)	Vs (m/s)
0,0 - 1,8	121
1,8 - 4,0	100
4,0 - 6,7	121
6,7 - 9,8	168
9,8 - 13,3	145
13,3 - 17,3	174
17,3 - 21,8	252
21,8 - 26,7	268
26,7 - 32,0	369

## **BÖLÜM 4. SONUÇLAR**

Bu çalışma, “Kocaeli ili Yeniköy, Yazlık, Gölcük, İhsaniye ve Hisareyn belediye sınırları dâhilinde bulunan Afete Maruz Bölgenin Revize İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüd” projesinin bir parçası olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın asıl amacını ise bölgenin 30 m derinliğe kadar olan kısmının hız değişiminin tespitidir.

Toplamda 48 kanallı ve 2 şer m jeofon-ofset aralıklı 5 profilde ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Araziden toplanan ham datalar üzerinde filtreleme uygulanarak asıl ulaşılmak istenen frekanstaki datalar öne çıkarılmış gürültüler elemine edilmiştir. Uygulama alanında alınan ölçümler sonrasında veriye önce MASW yöntemi uygulanarak 1D PickWin/Surface Wave Analysis programında veri işlenerek dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra elde edilmiş olan dispersiyon eğrisi kullanılarak ters-çözüm işlemi sonucu yerin S dalga hız bilgisine ulaşılmıştır.

Yapılan uygulamalar neticesinde tüm lokasyonlarda S dalga hızı 500 m/sn'nin altında çıkmıştır. Buna göre yerel zemin grubu C, zemin sınıfı Z3 sınıflamasına girmektedir.

Bu tezin ana amacı, yüzey dalgalarının çok kanallı analizi, maliyeti düşük çevreyle olan uyumu sayesinde tercih edilebilecek yöntemlerden birisi olması ve veri işlem aşamalarının hızlı ve kolay bir şekilde çözüm elde ettiğini ortaya koymasıdır. Model denemeleri sonucu, derinliğe göre sismik hızdaki değişim artıkça dispersiyonda artmıştır.

## KAYNAKLAR

ACAREL, D. , Mühendislik Sismolojisinde Yüzey Dalgası Yöntemleri, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s. D. , 2003

AKİ K. , Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Micro tremors, Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. , 35, 415-457. , 1957

AKİ, K. and RICHARDS, P.G. , Quantitative Seismology, University Science Boks, Sausalito, California, 685s. , 2002

Multichannel Analysis of Surface Waves Method. Federal Highway Program, 5pp. , Anonim, 2007

BATH, M. , Introduction to Seismology, Birkhauser Verlag, Basel and Stuttgart. , 1973

BEDFORD, A. , DRUMHELLER, D.S. , Introduction to Elastic Wave Propagation, J Wiley and Sons Ltd, Chichester, England. , 1994

BERGSTORM, J. , Non-Destructive Testing of Ground Strentght Using the SASW Method, the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Enviromental Problems (SAGEEP), Conference roceedings, Mrach 14 - 18 Oakland, CA, 57-65. , 1999

BOLT, B.A. , Nuclear Explosions and Earthquakes, W.H. Freeman and Company, 1976

BOZDAĞ, E. , Yeşilyurt ve Avcılarda Deprem Yer Tepkisinin Çok Kanallı mikro tremor Kayıtlarının Analizi ile Belirlenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 100s. , 2002

CAPON, J. , High Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis, Proc. IEEE, 57, 1408-1418. , 1969

DORMAN, J. , EWING, M. , Numerical Inversion of Sismic Surface Waves Dispersion Data and Crust-Mantle Structure in the Newyork-Pennsylvania Area, J Geophysical Research, 67, 5227-5241, 1962

EKİNCİOĞLU, E. , Dairesel diziliimli mikro tremörler ve Spac Yöntemi ile Yakın Yüzey S Dalga Hız Yapısının Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 150s. , 2007

EWING, W.M. , JARDETZKY, W.S. , PRESS, F. , Elastic Waves in Layered Media, McGraw Hill Book Co Inc., Newyork, 1957

GOEL, A. , DAS, A. , A Brief Review on Different Surface Wave Methods and Their Applicability for Non-Destructive Evaluation of Pavement, India, 350p, 2002

GUCUNSKİ, N. , And WOODS, R.D.. Inversion of Rayleigh Wave Dispersion Curve for SASW Test. Proceedings of the 5 th Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, pp. 127-138 , 1991

HAYASHI, K. , Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods, Sageep 2003 short course, 106s. , 2003

HERMANN, R.B. , and AMMON, C.J. , Computer Programs in Seismology, Surface Waves, Receiver Functions, and Crustal Structure, Version 3.15. , 2002

HERECEE, E. , AKAY, E., Kuzey Anadolu Fayı Atlası, MTA Özel Yayın Serisi No:2. , 2003

JACKSON, D.D. , Interpretation of Inaccurate, Insufficient and Inconsistent Data, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 28, 97-109. , 1972

JOHNSON, D.H. , and DUDGEON, D.E. , Array Signal Processing, PTR Prentice Hall Inc., New Jersey. , 1993

KARA, V. , Sismik Prospeksiyon, Karadeniz Teknik Üniv. Müh. Mim. Fak. Yayın No:34, Trabzon, 112s. , 1992

LOUIE, J.N. , Faster, Better: Shear Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Micro tremor Array, Bull.Seism.Soc.Am., 91, No:2. , 2001

MCMECHAN, G.A. , and YELDİN, M.J. , Analysis of Dispersive Waves by Wavefield, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 775-789. , 1981

MCMECHAN, G.A. , and OTTOLİNİ, R. , Direct Observation of a  $p$ - $\tau$  Curve in a Slant Stacked Wave Field, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 775-789. , 1980

NAZARIAN, S. , and STOKOE II , K. H. , In situ Shear Wave Velocities from Spectral Analysis of Surface Waves : Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, 8, San Francisco, Calif., July 21-28., 1984

OKADA. , The Micro tremor Survey Method, Geophysical Monography series no.12 SEG, Tulsa, 2003

OSMAN ŞAHİN, İ. ,Yüzey Dalgası Ortam Tepki Fonksiyonlarından Yararlanarak Anadolu ve Civarında Kabuk ve Üst-Manto Yapısının Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 113s, İstanbul , 1989

PARK, C.B. , MILLER, R.D. , ve XIA, J. , Ground Roll as a Tool to Image Near-Surface Anomaly. Soc. Exp., Geophysics, p. , 874-877. , 1998

PARK , C.B. , MILLER, R.D. , ve XIA, J. , Imaging Dispersion Curves of Surface Wave on Multichannel Record, 1377-1380. , 1998

SANCHEZ-SALINERO, I. , Analytical Investigation of Seismic Methods Used for Engineering Applications, PhD Dissertation, University of Texas at Austin. , 1987

SAGEEP, Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Method, Oyo Corporation, Short Course, 2003

SHEARER, P.M. , Introduction to Seismology, Cambridge University Press 260, England, 1999

SOCCO, L.V. , and STROBBIA, C. , Surface-Wave method for Near-Surface Characterization: a Tutorial, Near Surface Geophysics, 2004, 2, 165-185. , 2004

SCHMİDT, R.O. , Multiplex Emitter Location and Signal Parameter Estimation. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Ap-34, p 276-280. , 1986

ZYWICKI, D.J. , Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta , 1999

XIA, J. , XU, Y. , CHEN, C., KAUFMAN, R. , LUO, Y. , Simple Equations Guide High-Frequency Surface Wave Investigation Techniques, 26(2006), 395-403. , 2005

## ÖZGEÇMİŞ

Ruhi ŞAHİN, 05.04.1984 de Çorum' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2002 yılında Süleyman Demirel (Y.D.A) Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümüne girdi. 2007-2009 yılları arasında Geosis Jeofizik Jeolojik Sismik Etütler Mad. San. Tic. Ltd. Şti.nde mühendis olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin yurtiçi-yurtdışı arazi projelerinde sismik yansıma, kuyu içi sismik, dipol-dipol ölçümleri yanı sıra parsel bazında yüzlerce zemin etüd raporu hazırlanmasında aktif rol aldı. Şu anda Geosis Jeofizik Jeolojik Sismik Etütler Mad. San. Tic. Ltd. Şti.nde mühendis olarak görev yapmaktadır.