

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UZAK ALAN DEPREM KAYITLARINDAN TRABZON (TBZ) DEPREM
İSTASYONUNUN ALTINDAKİ LİTOSFER YAPISININ BELİRLENMESİ**

83294

Jeof. Müh. Murat ERDURAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Jeofizik Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.12.1998

Tezin Savunma Tarihi : 29.01.1999

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özcan ÇAKIR

Jüri Üyesi

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILMAZTÜRK

Jüri Üyesi

: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÖKALP

**TC. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümündeki Trabzon sismik istasyonunda 1996 - 1998 yılları arasında kayıt edilen uzak alan deprem verileri kullanılarak TBZ sismik istasyonunun altındaki kabuk ve üst manto yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan sonuçların Doğu Karadeniz Bölgesinin tektonizması için yapılan çalışmalara yapının elastik özelliklerini sunarak yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, gerek konu seçimi gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında hiç bir desteğini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Özcan ÇAKIR' a katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman bilgi ve birikimlerinden yararlandığım Jeofizik Mühendisliği Bölümündeki bütün hocalarıma ve özellikle yapıcı eleştirilerini ve ilgisini hiç esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Yusuf BAYRAK' a teşekkür ederim.

Murat ERDURAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Trabzon ve Civarının Jeolojik Yapısı.....	2
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Alıcı Fonksiyonun Gözlemden Elde Edilmesi.....	5
2.2. Alıcı Fonksiyonun Teorik Hesabı.....	8
2.3. Alıcı Fonksiyonlarda Eğimli Tabaka Etkileri.....	11
2.4. Doğrusal Frekans Ortamı Ters Çözüm Yöntemi.....	13
2.5. Kabuksal Transfer Fonksiyonu.....	16
2.5.1. Yarı - Sonsuz Ortama Gelen P Dalgası.....	23
2.6. Uygulamalar.....	25
3. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	49
4. SONUÇLAR.....	53
5. ÖNERİLER.....	56
6. KAYNAKLAR.....	57
7. ÖZGEÇMİŞ.....	60

ÖZET

Alıcı fonksiyon analiz yöntemi kullanılarak Trabzon (TBZ) sismik istasyonunun altındaki kabuk ve üst Manto yapısı belirlenmiştir. Veri olarak 1996 - 1998 yılları arasında TBZ sismik istasyonunda kaydedilen geniş-bandlı telesismik üç bileşen sayısal 39 deprem kaydı kullanılmıştır. Seçilen 39 depremin radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri hesaplanmış ve radyal alıcı fonksiyon bileşenlerine ters çözüm yöntemi uygulanmıştır. TBZ sismik istasyonunun, kuzeyinde okyanusal kabuk ve güneyinde ise kıtasal kabuk yer almaktadır. Bundan dolayı kuzeyden güneye doğru bir kabuksal kalınlaşma söz konusudur. Tanjansiyel bileşenlerdeki varışlar yanal hız değişimlerine duyarlı olduğu için kabuksal hız süreksizliklerinin eğimi hakkında bilgi vermektedir. Farklı geri-azimut düzlemlerinden gelen depremlerin tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerindeki doğrudan gelen P ve Ps dönüşüm dalga fazları incelenmiştir. Birbirine göre zıt kadranlarda olan deprem kayıtlarının tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri incelendiğinde polaritelerinin birbirine göre ters yönelim gösterdiği görülmüştür. Bunun sonucunda istasyon altında eğimli bir yapının var olduğu ve yönünün ise yaklaşık güney batıya doğru olduğu saptanmıştır. Radyal alıcı fonksiyonların ters çözümü sonucunda elde edilen S dalgası hız yapılarında 0 - 10 km derinlikleri arasında hızın ani bir artış gösterdiği görülmüştür. 20 - 35 km derinlikleri civarında ise yaklaşık 3.5 km/sn hızında düşük hızlı bir bölgenin varlığı belirlenmiştir. Tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde görülen düzensizlikler yeraltı anizotropisinin varlığına işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alıcı fonksiyon, Geniş-band, Telesismik, Ters çözüm, Ps dönüşümü, Anizotropi.

SUMMARY

Determination of Lithospheric Structure beneath Station TBZ by Use of Teleseismic Earthquake Recordings

Lithosphere structure beneath the seismic station Trabzon (TBZ) is determined by the least - squared inversion of observed radial receiver functions. The data are three component broad-band digital earthquake recordings and spans the time interval from 1996 to 1998. Among them 39 events had the required level of signal to noise ratio. From three component recordings it is possible to calculate radial and tangential receiver functions. Inversion technique is applied to radial receiver functions to acquire the elastic parameters beneath the station. To the south of station crustal structure is continental and it is oceanic in the north. Because of this nature, there is a crustal thickening from north to south. Tangential receiver functions are much affected by horizontal velocity heterogeneities and thus illustrate the dipping structure in case of such occurrence. P and P -to- S (Ps) converted waves in the tangential receiver functions are indicative of dipping structures when they are particularly compared to each other at varying back-azimuths. Here, tangential receiver functions show structural dipping towards approximately southwest. Inversion of radial receiver functions reveal a sudden velocity increase in the first 10 km depth. A low velocity zone of 3.5 km/sec. occurs at depths of 20 - 35 km. Anisotropic wave propagation is present under this station and this is indicated in tangential receiver functions.

Key Words: Receiver Function, Broad-band, Teleseismic, Inversion, P to S Conversion, Anisotropic.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Trabzon sismik istasyonu civarının ayrıntılı jeolojik haritası.....	4
Şekil 2. Gelen telesismik P dalgası için alıcı altındaki tekrarlı yansımaların ve dönüşüm fazlarının ışın diyagramında ve sentetik radyal alıcı fonksiyonda gösterimi.....	6
Şekil 3. Arayüzeyler, tabakaların numaralanışı ve eksenlerin yönleri.....	16
Şekil 4. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 1' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga şekilleri ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir.....	29
Şekil 5. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 2' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga şekilleri ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir.....	30
Şekil 6. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 3' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga şekilleri ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir.....	31
Şekil 7. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 4' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga şekilleri ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir.....	32
Şekil 8. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 5' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga şekilleri ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir.....	33
Şekil 9. Telesismik 39 deprem verisinin tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri ilk P dalgası polaritelerinin geri-azimut ve episantr uzaklığına göre dağılımı. Geri-azimut ve episantr uzaklığı benzer olaylar daireler içerisine alınarak gruplandırılmıştır. Ters polariteler yaklaşık eğim yönünü belirtir.....	35
Şekil 10. Grup 2 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortamı yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası ve başlangıç hız modelinin derinlikle değişimi.....	37
Şekil 11. Grup 3 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortamı	

	yıgma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi.....	38
Şekil 12.	Grup 4 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortamı yıgma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi.....	39
Şekil 13.	Grup 5 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortamı yıgma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi.....	40
Şekil 14.	Grup 2 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri.....	43
Şekil 15.	Grup 3 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri	44
Şekil 16.	Grup 4 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri.....	45
Şekil 17.	Grup 5 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri.....	46

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. TBZ istasyonunda alıcı fonksiyon analizi için kullanılan deprem parametrelerinin listesi.....	26



SEMBOLLER DİZİNİ

$D_V(t)$	Düşey bileşen yerdeğiştirme
$D_R(t)$	Radyal bileşen yerdeğiştirme
$D_T(t)$	Tanjansiyel bileşen yerdeğiştirme
$E_V(t)$	Yapının düşey darbe tepkisi
$E_R(t)$	Yapının radyal darbe tepkisi
$E_T(t)$	Yapının tanjansiyel darbe tepkisi
$D_R(w)$	Frekans ortamı radyal bileşen yer hareketi
$D_T(w)$	Frekans ortamı tanjansiyel bileşen yer hareketi
$D_V(w)$	Frekans ortamı düşey bileşen yer hareketi
$E'_R(w)$	Dekonvolüsyondan elde edilen yerin radyal tepkisi
$\phi_{ss}(w)$	Özilişki fonksiyonu
\bar{c}	su - seviyesi parametresi
a	Gauss filtresinin genişliği
σ	Pürüzsüzlük parametresi
u	Yatay yavaşlık
p	Açısal frekans
c	Yatay faz hızı
α_m	P dalgasının yayılma hızı
β_m	S dalgasının yayılma hızı
k	Yatay yöndeki dalga sayısı
$r_{\alpha m}$	Düşey yöndeki P dalga sayısı
$r_{\beta m}$	Düşey yöndeki S dalga sayısı
u	x yönündeki yerdeğiştirme bileşeni
w	z yönündeki yerdeğiştirme bileşeni
U_p	Radyal bileşen transfer fonksiyonu
W_p	Tanjansiyel bileşen transfer fonksiyonu
BAZ	Geri-azimut

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Sismik istasyonda kayıt edilen telesismik P dalga şekilleri, hem deprem kaynağı hemde alıcı civarındaki yer yapısı ve Manto yayılımının etkileri hakkında sağlıklı bilgi içerir. Alıcı fonksiyon modeli, sayısal geniş-bandlı üç bileşen istasyonların altında bulunan yapının yerel makaslanma hızlarının değişimini gösterir (Langston, 1979; Owens vd, 1984; Owens, 1987; Cassidy, 1992; Ammon ve Zandt, 1993; Mangino vd., 1993, Özalaybey vd., 1997). Alıcı fonksiyon analiz modellerinde, P' den S' ye dönüşmüş fazlar (kısaca Ps olarak gösterilir) ve tekrarlı yansımalar kayıt edilen saha altındaki hız süreksizlikleri ile ilişkilidir. Episantr uzaklığı 20° den daha büyük olaylar için telesismik P dalgaları dikeye yakın gelir ve yer hareketinin düşey bileşeninde hakim olarak gözlenir. Bunun yanısıra, yer hareketinin yatay bileşeninde ise Ps dönüşüm fazları hakimdir. Kayıt alınan bölge altındaki S hız yapısı alıcı fonksiyon bileşenlerindeki dalga şekillerinin genliğine, varış zamanlarına ve Ps dönüşüm fazlarına duyarlıdır.

Telesismik P dalga şekilleri, 1960' ların ortalarından beri bölgesel yer yapısını modellemek için kullanılmıştır (Langston, 1979; Owens vd., 1984). Son 10 yıl içinde yüksek kaliteli geniş-bandlı deprem verilerinin artmasıyla değişik dalga şekili analiz teknikleri gelişmeye başlamıştır. Bu tekniklerden biri olan zaman ortamı P dalga alıcı fonksiyon analizinin çok faydalı olduğu görülmüştür (Cassidy, 1992). Ayrıca, alıcı fonksiyon analiz tekniği homojen ve yatay olarak tabakalanmış yapılara kolaylıkla uygulanmıştır (Langston, 1979; Owens vd., 1984; Owens, 1987; Langston, 1989; Ammon vd., 1990; Ammon, 1991; Cassidy, 1992). Kaba kabuksal özellikleri ortaya çıkarmak için yapılmış olan bu çalışmaların bir çoğunda uzun periyot verisi kullanılmıştır. Lee (1983) üç boyutlu arayüzeylerle ayrılmış homojen tabakalardan oluşan modellerde dinamik ışın izleme yöntemini kullanarak alıcı fonksiyonu modellemeye çalışmıştır. Lee' nin çalışması kısmen erken varışlar için veriyi açıklamada başarılı olmakla birlikte gizlenmiş dalgaları ve sinyal sürekliliğini açıklamak için yetersizdir. Alıcı fonksiyonu modellemek için zaman ortamı ters çözüm tekniği geliştirilmiştir (Owens vd., 1984). Benzer biçimde ters çözüm yöntemi frekans ortamında da kullanılabilir. Bu çalışmada frekans ortamı ters çözüm yöntemi incelenmiştir. Yatay ve homojen tabakaları kabul eden bu yöntem, üst Manto derinliklerinde bir boyutlu hız yapısını ifade etmek için pek çok çalışmada başarıyla kullanılmıştır. Değişik geri-azimutlardan gelen

telesismik dalgalar alıcı altındaki yanal hız değişimlerini belirlemek için kullanılabilir (Owens vd., 1984).

Son zamanlarda yapılan geniş-band alıcı fonksiyon analizleri ve kısa periyot verisi, homojenitenin daha karmaşık durumları içinde uygulanmıştır. Alıcı fonksiyon analizinde kullanılan dalgalar Ps dönüşüm fazlarının varış zamanlarına, tekrarlı yansımalara episantr uzaklığına ve geri-azimuta bağlıdır. Ayrıca eğimli arayüzeylerin varlığı ile ilişkilidir. P dalgaları, Ps dönüşümleri ve tekrarlı yansımalar eğimli yapı durumunda tanjansiyel bileşenlerde gözlenebilir.

Bu çalışmada, 1996 yılından bu zamana kadar aktif olarak sayısal geniş-bandlı üç bileşen deprem kayıtları alan TBZ sismik istasyonundaki verilerden yararlanılmıştır. Kaydedilen bu verilerden alıcı fonksiyon tekniği için en uygun olanları seçilerek TBZ istasyonu altındaki kabuk yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. İstasyonun altındaki kabuk yapısını belirlemek için gözlemsel radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerine frekans ortamı ters çözüm yöntemi uygulanmıştır. Yapılan çalışma sırasında alıcı fonksiyon hesabının çok çözümlülük probleminden kaçınmak için ise istasyon civarında olmuş yakın depremlerin gözlemsel grup hızlarından yararlanılmıştır.

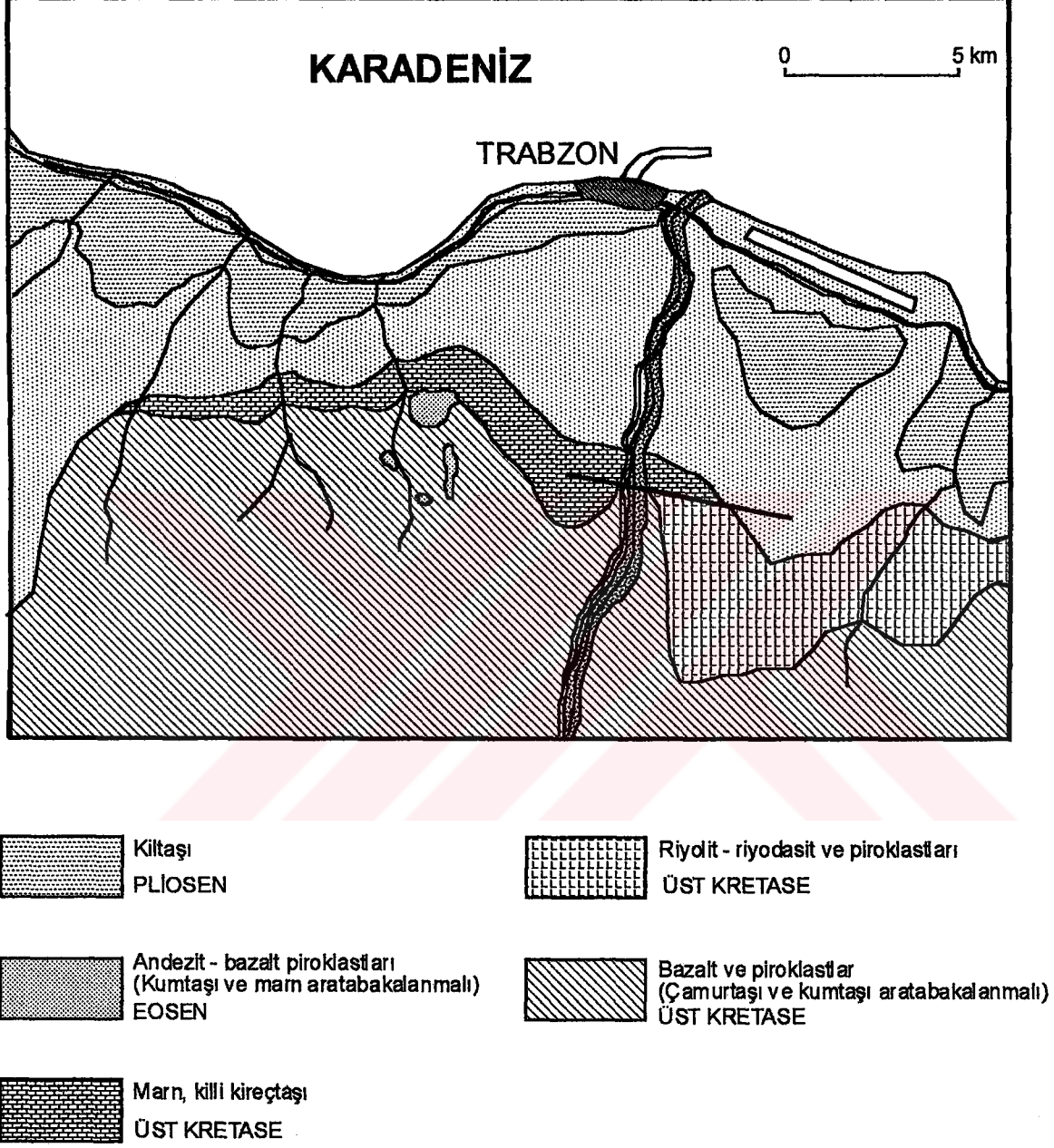
1.2. Trabzon ve Civarının Jeolojik Yapısı

Genel olarak Trabzon' un kuzeyinde okyanusal kabuğun ve güneyinde ise kıtasal kabuğun yer aldığı bilinmektedir. Günümüzde Karadeniz bölgesinin jeolojik kökeniyle ilgili bir çok hipotezler öne sürülmektedir. Türkiye' nin en tektonik birimi olan doğu Pontidler Karadeniz kıyası boyunca aktif bir kıtasal marjine benzer. Pontidlerin Mesozoyik basenlerinin jeolojik evrimi başlıca Avrupa ve Afrika arasındaki nispi hareketlere veya Kuzey Atlantik okyanusunun evrimine bağlıdır (Bektaş vd., 1995).

Doğu Karadeniz bölgesinde Alpin Metalojen kuşağı içinde yer alan doğu Pontidler Jurasik, üst Kretase ve Eosen' deki orojenik aktiviteler sonucu gelişmiş magmatik kayalardan oluşmaktadır (Şen vd., 1997; Çamur vd., 1996; Yılmaz, 1996). Türkiye' nin Karadeniz kıyasında yer alan doğu Pontid volkanikleri doğu - batı yönünde 500 km ve kuzey - güney yönünde 110 km genişliğinde uzanmaktadır. Saha ve jeokimyasal verilerden hareketle bölgede dört ana volkanik devir tanımlanmış ve oluştukları zaman dilimine göre 1) Jura volkanik devri, 2) Üst Kretase alt volkanik devri, 3) Üst Kretase üst volkanik devri ve

4) Tersiyer volkanik devri olarak adlandırılmıştır. Jeokimyasal veriler Jura devri volkanik ürünlerinin; yay gerisi ve zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazalt lavları özelliklerini taşıdığını ve kıtasal kabuktan etkilenmediğini göstermektedir. Üst Kretase devri volkanikleri yay gerisi ve yay içi havza tipinde bir oluşumu gösterirken, üst Kretase alt devri ve Tersiyer devri volkanikleri yitim zonunda dalan plakadan veya kabukdan etkilenmiş bir faaliyet türü göstermektedir. Yitim özellikli Tersiyer devri volkanikleri üst Kretase üst devri volkaniklerinin işaret ettiği yay gerisi ve yay içi havza oluşumunun sona erdiğini veya volkanik aktivitenin bittiğine ve yeni bir yitimin başladığına işaret etmektedir (Çamur vd., 1996). Karadeniz bölgesinde Eosen kayalar genelde Trabzon, Tonya ve Gümüşhane sahalarında görülmektedir (Şen vd.,1997). Şekil 1' de açıkça görüldüğü gibi Trabzon' un altında karşılaşılan ilk kayaç birimi Eosen' dir.

Karadeniz bölgesinin genelinde volkanik aktivitenin durduğu sanılmaktadır. Genç sedimentler yaklaşık yatay uzanmaktadır ve kıvrımlanma görülmemektedir. Karadeniz' in merkezinde depremler olmamasına rağmen bölgede henüz süsidsans devam etmektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik zaman süresince Karadeniz' in hem kuzeyinde hemde güneyinde Jeosenklinaller bulunmaktadır. Bölge için yapısal deformasyon gerçekte Jurasik devirde tamamlanmıştır. Karadeniz bölgesindeki kara kütesini yani kıta parçasını süpürüntü malzemeleri sağlamaktadır. Karadeniz ve civarındaki sahalar arasındaki sismik P dalga hızlarının karşılaştırılması, Karadeniz baseninin Senozoyik ve geç Mesozoyik yaşlı çöküntülerle doldurulduğunu gösterir. Karadeniz' de granit tabakasının bulunmaması derin sismik profillerinde ve yüzey dalgalarının incelenmesi sonucunda belirlenmiştir. Anadolu' dan Karadeniz' e doğru Bouguer anomalisindeki artış ile bu yorum desteklenmiştir (Brinkmann, 1974).



Şekil 1. Trabzon sismik istasyonu civarının ayrıntılı jeolojik haritası (Şen vd., 1997).

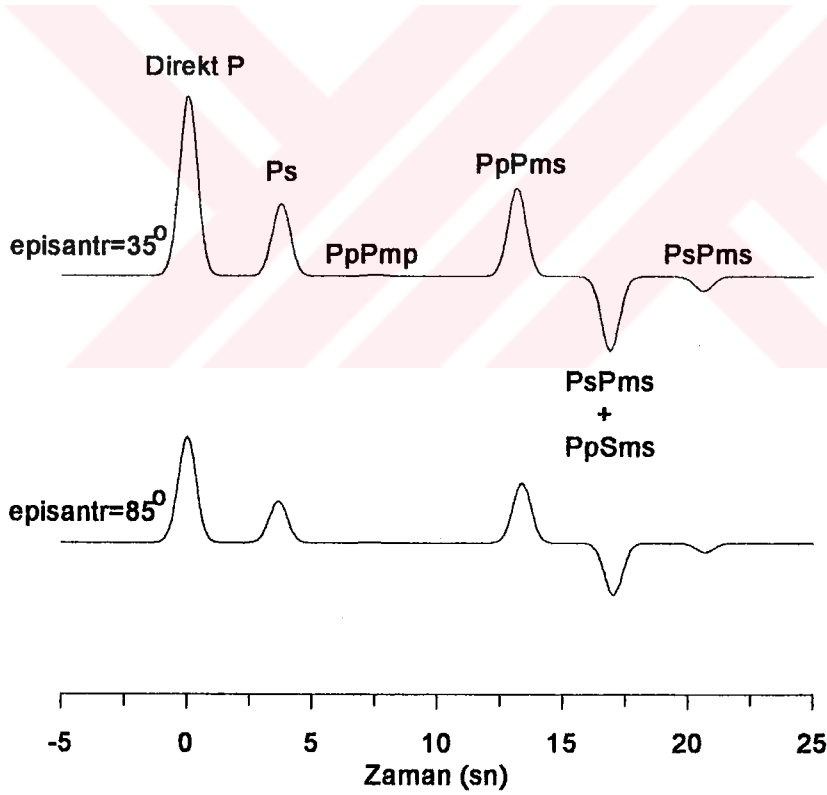
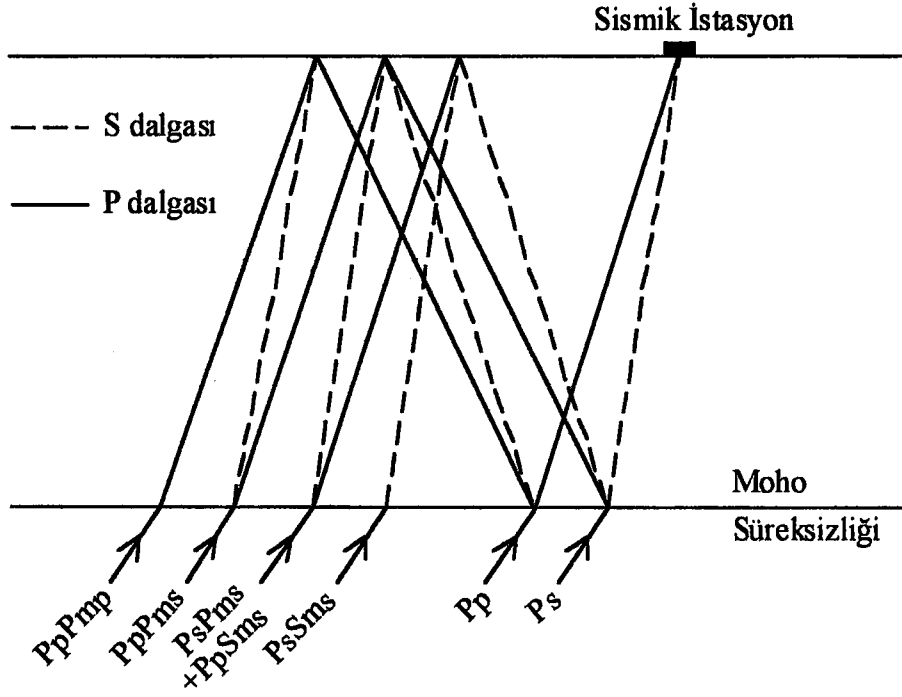
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Alıcı Fonksiyonun Gözlemden Elde Edilmesi

Yerkabuğu yapısı ve kalınlığı homojen olmayıp bölgesel olarak değişim göstermektedir. Cisim dalgalarından yararlanılarak yapılan yerkabuğu incelemelerinde kullanılan yöntemlerin bir çoğunda yer içerisindeki süreksizliklerde meydana gelen yansıma ve kırılmalar incelenir. Oysa, dalgalar bu süreksizliklerde yansıyıp kırılmazlar aynı zamanda faz dönüşümlerine de uğrarlar. Yapılan çalışmalar sonucunda bu faz dönüşümlerinin yansımalarla birlikte yer yapısı hakkında önemli bilgiler verdiği görülmüştür.

Son yıllarda sayısal üç bileşen geniş-bandlı sismik istasyonların artmasıyla birlikte kalitesi yüksek deprem kayıtları alınmaya başlanmıştır. Bu deprem verileri kullanılarak yapılan kabuk yapısı çalışmalarında dönüşmüş fazların kullanılmasıyla elde edilen sonuçların diğer yapı çalışmalarına göre daha duyarlı olduğu görülmüştür. Langston (1977) kabuk ve üst Manto yapısının belirlenmesinde düşey ve radyal P dalga şeklinin ters çözümü kullanılmıştır. Langston bu çalışmasında kabuksal tekrarlı yansımalar ve Ps dönüşümlerinin de iyi bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Daha sonra, Langston (1979), Hebert ve Langston (1985) ve bunları izleyen çalışmalar kabuk yapısının belirlenmesi için Ps dönüşüm fazlarından yararlanmıştır.

Telesismik P dalga şekilleri; kaynak zaman fonksiyonu, kaynak mekanizması, yakın kaynak yapısı, Manto içinde yayılım etkileri ve kaydedilen saha altındaki yerel yapı ile ilgili bilgileri içerir. Manto' dan dikeye yakın olarak gelen uzak alan sismik dalgalar karşılaştıkları arayüzeyde sadece yansımaz ve kırılmazlar, aynı zamanda P' nin S' ye ve S' nin P' ye dönüşümlerini de içerirler. Telesismik P dalga kodası içinde kabuksal yansıma ve iletim katsayılarına göre beş önemli faz yer alır. Bunlar PpPmp, PpSmp, Ps, PpPms ve PpSms fazlarıdır. Bunlardan ilk ikisi oldukça küçük genlikli olduğu için sismogramlar üzerinde gözlenebilmeleri güçtür. Üçüncü Ps varışı direkt P varışının ardından birkaç saniye sonra gelir ve güçlü olmadıkça bu fazın tanınması da zordur. Son iki faz ise uzak alan P dalgalarının radyal bileşeninde gözlenebilir. Bu olaylar hem kaynak hemde kayıt istasyonu civarında meydana gelir. Ayrıca, bu dönüşüm fazları Moho süreksizliğinin yeryüzüne çok yakın olması nedeniyle ilk P varışından birkaç saniye sonra geldikleri gibi kendinden önceki hareketin içinede karışabilirler.



Şekil 2. Gelen telesismik P dalgası için alıcı altındaki tekrarlı yansımaların ve dönüşüm fazlarının ışın diyagramında ve sentetik radyal alıcı fonksiyonda gösterimi

Telesismik dalga şekillerinin modellenmesi veya alıcı fonksiyon analizi kabuk ve üst Manto yapısının açıklanmasına bağlı bir yöntemdir. Alıcı fonksiyon analiz işlemi, episantr uzaklığı 20° den büyük sayısal üç bileşen deprem kayıtlarının kullanılmasıyla yapılır. Episantr uzaklığı 20° den büyük ve derin depremler için yer hareketinin düşey bileşeni birim darbe şeklindeki kaynak fonksiyonu ile alet tepkisi ve daha sonraki önemsiz varışların konvolüsyonu gibi davranır (Langston, 1979). Çünkü olayların uzak ve derin olması durumunda ışının Moho süreksizliğine geliş açısı çok küçük olacaktır. Yani, ışın arayüzeye hemen hemen dik gelecektir. Bundan dolayı uzak alan derin depremler için P dalgasının düşey bileşeni sonraki kabuksal fazların dışında kaynak fonksiyonu gibi davranır. P' den S' ye dönüşen S dalgaları ise yatay bileşen sismogramlarında hakim olarak kaydedilir. Alıcı fonksiyon işlemi, ilk olarak, radyal ve tanjansiyel bileşenleri elde etmek için teorik geri-azimutda P dalga varışının yatay bileşenlerde vektörel döndürülmesini içerir. Geri-azimut (BAZ), istasyondan kaynağa doğru kuzeyden itibaren saat yönünde yapılan açı olarak tanımlanır. Radyal ile tanjansiyel bileşenlerden düşey bileşenin basit bir dekonvolüsyon işlemine dayandırılan alıcı fonksiyon analiz yönteminin aslı Langston (1979) tarafından tanımlanmıştır. Dekonvolüsyon edilen sismogramlar alçak geçişli Gauss fonksiyonu ile konvole edilir. Sonuçlanan yatay alıcı fonksiyonlar başlıca alıcı altındaki bir boyutlu S hız yapısına duyarlıdır (Owens vd., 1984).

Alıcı fonksiyonların hesabı sırasında ayrımlılığın korunmasının yanısıra mutlak genliklerin elde edilmesine de önem verilir. Mutlak genliklerin kullanımı sığ hız yapısı hakkındaki bilgiyi korur (Ammon, 1991) ve eğimli tabakaların varlığından dolayı hatalardan kaçınmaya yardımcı olur (Cassidy, 1992). Bu şekilde yapılacak hesaplamalardan önce kullanılacak telesismik deprem kaydının sinyal/gürültü oranının yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü gözlemlenen alıcı fonksiyon hesabıyla, ters çözüm sonunda elde edilecek sentetik sonucun birbiriyle uyum göstermesi arzu edilen bir durumdur. Bundan dolayı alıcı fonksiyon hesabı yapılırken deprem verileri episantr uzaklıklarına ve geri-azimut değerlerine göre gruplandırılırlar. Belirlenen gruplardaki her deprem için alıcı fonksiyon hesabı yapılır ve hesaplanan alıcı fonksiyonlar gürültünün etkisini azaltmak için yığılırlar. Her Δt örnekleme noktasında ± 1 standart hata ile dalga biçimleri hesaplanır. Bu durumda, daha detaylı ve sinyal/gürültü oranı daha yüksek sonuç elde edilir. Hesaplamalar sırasında yüksek frekanslı verinin kullanılması kabuksal yapıdaki yanal heterojeniteye olan duyarlılığı artırır. Radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin farklı büyüklükte olması ve büyük bir

azimut dışı Ps fazını göstermesi istasyon altında büyük ölçüde kabuksal heterojenitenin varlığını gösterir. Çünkü Ps dönüşüm fazı normalde radyal olarak polarize olacaktır, bu yüzden tanjansiyel enerjinin varlığı homojen olmayan yapının varlığını gösterir. Langston (1979) tanjansiyel Ps dönüşüm fazının genlik ve polarite davranışından eğimli arayüzeyin eğimini ve doğrultusunu göstermiştir. Ayrıca alıcı fonksiyon analiz yöntemi ile anizotropinin varlığında saptanabilmiştir (McNamara ve Owens, 1993). Geniş-bandlı veriden sonuçlanan alıcı fonksiyonlar genellikle ileri modelleme teknikleri için oldukça detaylıdır. Bu yüzden en küçük kareler ters çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. İstasyon altındaki S dalga hız yapısını ileri modelleme tekniği ile ortaya çıkarmak oldukça zordur, bu nedenle son zamanlarda frekans ve zaman ortamı ters çözüm yöntemleri sıkça kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ne kadar uygun gözükse de çözümün tekil olmayışı problemiyle karşı karşıya kalınmıştır. Bundan dolayı bu problemi ortadan kaldırmak için gözlemsel grup hızlarından yararlanılmıştır. Sonuçta, elde edilen tüm bilgiler biraraya getirilerek TBZ sismik istasyonun altı için S dalgası hız yapısı çözümü bulunmuştur.

2.2. Alıcı Fonksiyonun Teorik Hesabı

Telesismik dalga şekillerinin modellenmesi veya alıcı fonksiyon analizi, kabuk ve üst Manto yapısını açıklamaya yönelik bir yöntemdir. Alıcı fonksiyon yöntemi, sismologlar tarafından üç bileşen geniş-bandlı sismik istasyonlar altındaki hem kabuk hemde üst Mantonun bir boyutlu S dalga hız yapılarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Alıcı fonksiyonlar yatay olarak tabakalanmış yapılarda ideal olarak darbe serileri olduğu için tercih edilmektedir. Gözlemsel P dalgalarından yararlanarak kaynak fonksiyonunun dekonvolüsyon yöntemiyle elde edilmesi yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Sismometre tepkisi, yerin soğurma etkisi ve yerkabuğu tepkisinin gözlemsel P dalgasından dekonvolüsyonu sonucu kalan kaynak zaman fonksiyonudur. Burdick ve Helmberger (1974) derin telesismik olayların Haskell tipi dislokasyon modeli ile tam olarak tanımlanabileceğini ve basit derin olaylar için düşey P dalgasının, izleyen kabuksal fazlar dışında, tamamen kaynak fonksiyonunu gösterebileceğini belirtmiştir. Böylece farklı kaynak zaman fonksiyonlarının yerini tutan veri eşitlik yönteminin tanımlanması gereklidir.

Alıcı fonksiyonlar hesabında dekonvolüsyon tekniğinin kullanımı, ışın etkilerini ve deprem kaynağını gizli tutmak için Langston (1979) tarafından önerilmiştir. Bu yüzden, alıcı

fonksiyon tekniği tekrarlı yansımaların ve yerel olarak meydana gelen Ps dalga dönüşüm fazlarının ayırt edilmesinde kullanılabilir.

Zaman ortamında yatay veya eğimli tabakalardan oluşan yerkabuğunun tabanına gelen düzlem P dalgası için yerdeğiştirme tepkisi,

$$\begin{aligned} D_V(t) &= I(t)*S(t)*E_V(t) \\ D_R(t) &= I(t)*S(t)*E_R(t) \\ D_T(t) &= I(t)*S(t)*E_T(t) \end{aligned} \quad (1)$$

konvolüsyonu şeklinde verilebilir. Burada $S(t)$ kabuk tabanına gelen dalganın etkin kaynak zaman fonksiyonu, $I(t)$ sismograf tepkisi, $E_V(t)$, $E_R(t)$ ve $E_T(t)$ sırasıyla yapının düşey, radyal ve tanjansiyel darbe tepkileridir.

Yapının etkisi genel olarak

$$E(t) = \sum_{i=1}^n \{ \alpha_i \delta(t - \tau_i) + \beta_i H[\delta(t - \tau_i)] \} \quad (2)$$

şekilinde verilmektedir (Langston, 1979). Burada α_i ve β_i yansıma - kırılma katsayıları ile ilgili sabitlerdir, $\delta(t)$ dirac delta fonksiyonu, τ_i i 'nci ışının seyahat zamanı ve $H(t)$ Hilbert dönüşüm operatörünü gösterir. Toplama işlemi ise n tane ışın için yapılır. Düzlem tabakalı modeller için $E(t)$ 'yi hesaplamamanın yaygın ve kolay bir yolu da frekans ortamında matris tekniğini kullanmaktır (Haskell, 1953, 1962).

Basit derin telesismik olaylardan yapılan gözlemler şunu göstermiştir: yer hareketinin düşey bileşeni darbe şeklindeki kaynak fonksiyonu ile sismometre ve daha sonraki önemsiz varışların konvolüsyonu gibi davranmaktadır (Langston, 1979). Tipik kabuksal yapılar için yapılan teorik hesaplamalar dikeye yakın geliş açısına sahip P dalgalarında tekrarlı yansımalar ve dönüşüm fazlarının önemsiz olduğunu göstermektedir (Langston, 1979; Owens vd., 1984; Ammon, 1991). Böylece

$$I(t)*S(t) \approx D_V(t) \quad (3)$$

yaklaşımı kullanılabilir. Burada belirtilen ise $E_V(t)$ ' nin çoğunlukla dirac delta fonksiyonuna benzer davranmasıdır. Frekans ortamında ise

$$E_R(w) = \frac{D_R(w)}{I(w)S(w)} \approx \frac{D_R(w)}{D_V(w)} \quad (4)$$

$$E_T(w) = \frac{D_T(w)}{I(w)S(w)} \approx \frac{D_T(w)}{D_V(w)}$$

şeklinde yazılabilir. Daha sonra, $E_R(w)$ ve $E_T(w)$ tekrar zaman ortamına dönüştürülür. $D_R(w)$ ve $D_T(w)$ frekans ortamında sırasıyla radyal ve tanjansiyel bileşen yer değiştirme hareketlerini gösterir. Bu tekniğe benzer işlemler spektral oran tekniği ile daha önceki yer kabuğu çalışmalarında kullanılmıştır (Owens vd., 1984). Alıcı fonksiyon tekniğinde faz bilgisi spektral oran tekniğine göre, daha iyi korunur. Ayrıca bu teknikten elde edilen sonuçlar ise bir sismogram gibi doğrudan yorumlanabilir.

Sinyaller band sınırlı olduğu ve rastgele gürültü içerdiği için eşitlik (4)' deki dekonvolüsyon işlemi sayısal olarak duraylı değildir. Frekans ortamındaki bu yöntem eşitlik (5)' deki gibi verilir.

$$\left. \begin{aligned} E_R(w) &= \frac{D_R(w)\bar{D}_V(w)}{\phi_{SS}(w)} G(w) \\ \phi_{SS}(w) &= \max\{D_V(w)\bar{D}_V(w), \bar{c} \max[D_V(w)\bar{D}_V(w)]\} \\ G(w) &= e^{-w^2/4a^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Burada $E_R(w)$ dekonvolüsyon edilen yerin radyal tepkisini ve $\bar{D}_V(w)$ düşey yer değiştirme bileşeninin kompleks eşleniğidir. $\phi_{SS}(w)$ ise \bar{c} parametresine bağlı spektral çukurların doldurulması ile elde edilen $D_V(w)$ ' nin basit bir özilişki fonksiyonudur.

\bar{c} (su-seviyesi) parametresi maksimum düşey bileşen güç spektrumu ile orantılıdır. Bu çalışmada $\bar{c}=0.001$ değeri tespit edilmiştir. a sabiti ise yüksek frekans gürültüsünü ortadan

kaldırmak için kullanılan Gauss filtresinin genişliğini kontrol eder. Genelde geniş-bandlı telesismik veriler için α değeri 3 ve 7 arasında uygundur. $\alpha=3$ değeri yaklaşık 0.5 Hz' den büyük frekansları ve $\alpha=7$ değeri yaklaşık 2 Hz' den büyük frekansları ortadan kaldırır. Düşük α değerleri (1 ve 3 gibi) verinin düşük frekans bileşenlerini (0.1-0.5 Hz) incelemek için kullanılır. Yapılan bu çalışmada ise $\alpha=2$ değerinin kullanılması tercih edilmiştir.

2.3. Alıcı Fonksiyonlarda Eğimli Tabaka Etkileri

Bu çalışmadaki asıl hedef, gözlemlenen dalga şekillerinden yararlanarak istasyon altındaki yer yapısının bir fiziksel modelini ortaya çıkarmaktır. Tek istasyon yapı çalışmalarında yanal olarak homojen veya biraz eğimli tabakaların hız yapılarının farzedilmesi yöntemin uygulanması için gözönünde tutulan önemli bir sınırlamadır. Kabul edilen yatay homojenite veya biraz eğimli tabaka arayüzeylerinin geçerliliği sinyalin frekans içeriğine veya modellenen yapının yanal uzanımına bağlıdır. Bir sismik istasyon civarındaki yapıda olan yanal değişimler farklı azimutlarda kaydedilen telesismik P dalgası deprem verileri ile incelenebilir. Hesaplamalar için seçilen verinin cinsi yalnızca hız kontrastlarına ve ortalama kabuksal seyahat zamanlarına duyarlıdır. Yüksek frekanslı veri kullanılmasında kaçınılmaz ödünleşmelerden biri kabuksal yapıda yanal heterojeniteye duyarlılığın artmasıdır. Alıcı fonksiyonun tanjansiyel bileşeninde azimut dışı P_s dönüşüm fazlarının görülmesi istasyon altında kabuksal heterojenitenin varlığını gösterir. Normal olarak P' den S'ye dönüşüm fazı radyal olarak polarize olur ve tanjansiyel enerji ise homojen olmayan yapıdan kaynaklanır. Yataya yakın arayüzeylerde dönüşen S dalgaları P dalgalarının dik olarak gelmesinden dolayı hareketin radyal bileşeninde kaydedilir. Bu nedenle, yatay uzanan arayüzeyler için hareketin tanjansiyel bileşeni, yani tanjansiyel alıcı fonksiyonu, yaklaşık olarak sıfır olacaktır. Alıcı fonksiyonlarda eğimli tabakaların etkileri Langston (1979), Owens vd., (1984), Cassidy (1992), Zhang ve Langston (1995) ve Peng ve Humphreys (1997) tarafından incelenmiştir. Eğimli arayüzeyin etkileri daha çok enine bileşende gözlenir. Bu nedenle eğimli arayüzeyden oluşan model enine dalga şekilleri kullanılarak belirlenmeye çalışılır. Tekrarlı yansımalar kabuk içerisinde kabuk boyunca yayıldıkları için kabuktaki yanal heterojeniteden büyük ölçüde etkilenir. Kabuktaki yatay heterojenliğin varlığı enine dalga şekillerinde daha iyi gözlenir. Eğimli arayüzeylerde kabuksal yansıma ve kırılmalar nedeniyle ışın yolları gittikçe artarak bozulur ve bu olay

tekrarlı yansımalarda saçılmalara neden olur (Cassidy, 1992; Baker vd., 1996). Eğimli arayüzeyin diğer bir göstergesi ise enine bileşende P dalgası polaritesinin beklenenden farklı bir azimutal davranış göstermesidir (Langston, 1979, 1989). Alıcı fonksiyon analiz tekniği ile eğimli arayüzeylerin belirlenmesinin yanısıra anizotropik etkiler de incelenebilmiştir (McNamara ve Owens, 1993).

Eğimli arayüzeyler durumunda alıcı fonksiyon varışları P dalgasının saçılımlarını gösterebilir. Tanjansiyel P ve Ps dönüşümünün polaritesi arayüzeyde eğimin yönünü gösterir. Direkt gelen P ve Moho' dan gelen Ps dönüşüm fazlarının genliği ve seyahat zamanı arayüzeyin eğim yönüne ve büyüklüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir.

Düşük hız zon modellerinde dalgaların geliş açıları normal hız modelleri ile meydana gelenden daha küçüktür ve yatay ışın geliş parametresi (faz hızı) benzerdir. Meydana gelen ışın azimut anomalileri ve yüzey geliş açıları küçülmesinden dolayı tanjansiyel genliklerde küçülür.

Yatay ve eğimli sınırlarda meydana gelen Ps dönüşüm fazları önemli farklılıklar gösterir. Bunlar aşağıda tanımlanan maddeler halinde verilebilir:

1- Ps dönüşüm fazlarının genlikleri ve varış zamanları hem geri-azimut' un hemde episantr uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişir. Gelen P dalgalarının eğim yukarı seyahati en büyük ve en geç Ps fazları varışı meydana getirirken dalgaların eğim aşağı seyahati ise en küçük ve en erken Ps varışını meydana getirir.

2- Direkt gelen P dalgasının radyal alıcı fonksiyon genliği azimut bağımlıdır. Radyal alıcı fonksiyonundaki direkt gelen P dalgası eğim aşağı seyahat eden dalgalar için en büyük ve eğim yukarı seyahat eden dalgalar için en küçüktür.

3- Eğimli tabakalar radyal - düşey düzlemde P ve S dalgalarını faz dönüştürür ve böylece yer hareketinin tanjansiyel bileşenini tanımlar (Cassidy, 1992). Tanjansiyel genlik arayüzeyin doğrultu yönü boyunca seyahat eden varışlar için en büyük ve eğim yukarı ve eğim aşağı yönlerden varışlar için sıfırdır. Farklı yönlerdeki birkaç eğimli arayüzeyin davranışı için direkt gelen P dalgasının tanjansiyel bileşeni karmaşık bir azimutal genlik gösterebilir.

Eğimli arayüzeylerde meydana gelen Ps dönüşüm fazları geri-azimut ve episantr uzaklığının bir fonksiyonu olarak genlik ve varış zamanı değişimleri gösterir. Genlik değişimi özellikle eğim açısına bağlıdır, halbuki varış zamanı değişimi hem eğim açısına hemde arayüzeyin derinliğine bağlıdır.

Hem eğimli Moho düzlemi hemde kabuksal anizotropi içeren bir hız modeli gözlemlenen Ps dönüşümlerinin tanjansiyel ve radyal hareketlerini açıklamak için gereklidir. Radyal ve tanjansiyel Moho Ps dönüşümleri arasında gözlemlenen varış zaman farklılığı anizotropik kabuğa işaret eder. Ayrıca, bazı büyük tanjansiyel hareketlerde radyal ve tanjansiyel Moho Ps dönüşümleri arasında zaman farklılığı olmayabilir. Tanjansiyel dalga biçimleri anizotropik tepki için merkezi simetriyi gösterebilirken eğimli Moho için merkezi antisimetriyi gösterebilir.

2.4. Doğrusal Frekans Ortamı Ters Çözüm Yöntemi

Alıcı fonksiyonun ters çözümü standart en küçük kareler tekniği kullanılarak frekans ortamında yapılabilir. Problem

$$d_j = F_j[m] \quad j=1,2,3,\dots,N \quad (6)$$

biçiminde ifade edilir. Burada d_j gözlemlenen veriyi, m ters çözülen hız modelini ve F_j ise m modeline ait dalga şeklini üretmek için kullanılan fonksiyonu gösterir. (6) ilişkisi doğrusal değildir ve dalga şekili ters çözümleri için sentetik sismogramların hesaplanmasını gösterir. Doğru hız modeli (m)'nin tahmini için yerel yapıya benzer bir başlangıç modeli ile çözüme başlanır. Tabaka hızları vektörel olarak gösterilir. Ters çözüm yönteminde başlangıç hız modeli (m_0)'nin yerin doğru hız yapısına (m) yakın olduğu kabullenilir. Ayrıca, hız yapısı ve dalga şekili arasındaki doğrusal olmayan ilişki, başlangıç hız modeli etrafında alıcı fonksiyonun Taylor serilerine açılması ile doğrusallaştırılabilir.

$$F_j[m] = F_j[m_0] + (D, \delta m)_j + O\left\|(\delta m^2)\right\| \quad (7)$$

Bu ifadede, D terimi m_0 modelindeki tabaka hızlarının değişimlerine ait dalga şeklinin kısmi türevlerini içeren matrisi ve δm ise model düzeltme vektörünü gösterir. F operatörü model ve alıcı fonksiyonu arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi gösterir. Taylor açılımında

doğrusal olmayan terimler $O\|\delta m^2\|$ ifadesi içinde yer alır. Bu durumda eşitlik (7) tekrar düzenlenecek olursa

$$(D, \delta m)_j \approx F_j[m] - F_j[m_0] \quad (8)$$

elde edilir. Burada eşitlik (8)' in sağ tarafı dalga şekili rezidüel vektördür, sol tarafı ise basit matris çarpımıdır. (8) ifadesi, en küçük kareler tekniği kullanılarak δm için çözülebilir (Ammon vd., 1990). Doğrusal yaklaşım ile doğru hız modeli olan m için tekrarlı çözüm yapılabilir. Eşitlik (8)' in çözümü süresince düzeltme vektör normu küçültülür. Eşitlik (8)' in her iki tarafına (D, m_0) ifadesi eklendiğinde,

$$(D, \delta m)_j + (D, m_0)_j \approx F_j[m] - F_j[m_0] + (D, m_0)_j \quad (9)$$

sonucu elde edilir (Ammon vd., 1990; Mangino vd., 1993). Daha basit olarak ise

$$(D, m)_j \approx d_j - F_j[m_0] + (D, m_0)_j \quad (10)$$

biçiminde yazılabilir. Elde edilen ifade standart en küçük kareler teknikleri kullanılarak çözülebilir. Eşitlik (8) bilinmeyen m vektörünü içeren doğrusal bir sistemdir.

Alıcı fonksiyon ters çözüm gözlemlerinde derinlikle sonuçlanan hız yapılarındaki hızlı değişim miktarı önemlidir. Yapılan ters çözümlerde pürüzsüzlük sınırlaması uygulanabilir (Ammon vd., 1990). İndirgenen model dalga şeklindeki uygun ayrıntı ile ödünleşir. Bu yaklaşım, ters çözüm işlemi sonucunda daha düzgün hız profili üretir. Pürüzsüzlük sınırlamaları model parametrelerinin farklı enerjisini minimum etmek için uygulanır. Bu durumda eşitlik (10) değiştirilirse,

$$\begin{bmatrix} D \\ \sigma \Delta \end{bmatrix} m \approx \begin{bmatrix} r \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D m_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ifadesi yazılabilir. Burada r rezidüel vektördür. Yani,

$$r_j = d_j - F_j[m_0]. \quad (12)$$

Δ matrisi ise ikinci dereceden pürüzsüzlük sınırlama matrisini belirtir.

$$\Delta = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & -2 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & -2 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ayarlanabilir bir parametre olan σ , ters çözüm dalga şekili ve pürüzsüz model arasında ödünleşmeyi kontrol eder. D matrisi ise $N \times M$ boyutludur.

Alıcı fonsiyonlar S dalgası dönüşüm fazlarına duyarlı olduğu için ters çözüm yöntemi istasyon altındaki S dalgası hız yapısını duyarlı bir şekilde yansıtır (Owens vd., 1984). Ters çözüm yönteminde yüksek ayrımlılığı korumak için tabaka kalınlıkları 1 km olarak alınmıştır. Kabukta 1 Hz frekans için S dalgasının dalga boyu yaklaşık 4 km' dir. Seçilen başlangıç modellerde tabaka sayıları çok olmasına rağmen ters çözümde pürüzsüzlük sınırlaması serbest parametre sayısını sınırlar. Radyal alıcı fonsiyonlar S dalga hızlarına daha duyarlı olduğu için S dalga hızları için ters çözüm yapılır ve her ters çözüm tekrarı için 0.25 Poisson değeri kullanılarak P dalga hızları ayarlanır. Her tabakadaki yoğunluk değeri ise $\rho = 0.32\alpha + 0.77$ ilişkisi ile elde edilir (Ammon vd., 1990). Ani olmayan kabuk - Manto geçiş zonunda Ps dönüşüm fazı pürüzsüz modeller ile iyi modellenir. Pürüzsüzlük parametresinin seçimi gerçek veri olmasına rağmen bir dereceye kadar kendine özgüdür. Alıcı fonsiyon ters çözüm işlemi süresince genelde küçük bir pürüzsüzlük değeri ($\sigma = 0.0005 - 0.002$) kullanılır. Ters çözüm işlemi, en uygun verilen başlangıç modeline göre, kısa sürede 4 veya 5 adımda gözlemlenen dalga şekiline yaklaşım sağlar. Ters çözüm sonuçlarının geliş açısına bağlı olarak önemli bir biçimde değiştiği bilinmektedir. Genelde ters çözüm sonunda elde edilen modelin uygunluğu geliş açısındaki artışa göre düzeltilir. Çünkü, gelen ışın düşeye yakın olduğu zaman P-SV dönüşüm fazlarının enerjisi küçük olacaktır.

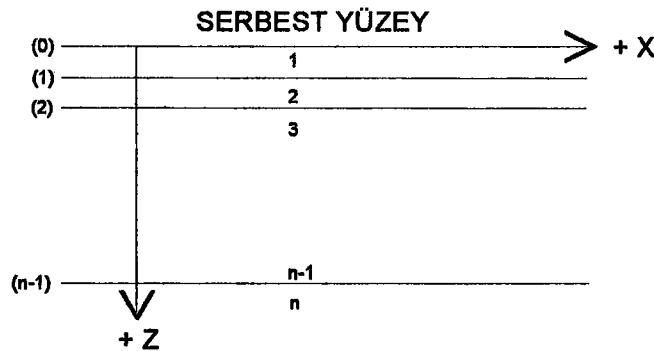
S dalgası hız yapısı için elde edilen alıcı fonsiyon ters çözümleri tekil değildir. Bu nedenle, yüzey dalgası faz hızı verisi ile alıcı fonsiyon ters çözümünü birleştirerek çok

çözünürlük problemi incelenebilir. Temel mod yüzey dalgası faz hızları nüfuz derinliğinde materyalin ortalama S hız yapısına duyarlıdır. Materyaller arasındaki hız kontrastlarına duyarlı olan bu bilgi aslında alıcı fonksiyonlarda yoktur. Ayrıca, tanjansiyel alıcı fonksiyonlar yanal heterojeniteye çok duyarlı olduğu için ters çözüm işleminde içerilmezler. Çünkü bu şekilde bir ters çözüm sonunda elde edilen model sağlıklı ve oldukça çok çözümlüdür.

2.5. Kabuksal Transfer Fonksiyonu

Yerkabuğu incelemelerinde yaygın olarak kullanılan Thomson - Haskell matris yöntemi, tabakalı ortamda elastik dalga denkleminin sınır koşulları altında çözümünden ibarettir. n tabakadan oluşan yerkabuğu modelinde, elastik dalga denklemi çözümü yapılırken $(4n-2)$ tane sınır koşulu gözönüne alınır. Bu sınır koşulları, her bir arayüzeyde iki yerdeğiştirme ve iki gerilme bileşeninin sürekli ve serbest yüzeyde gerilme bileşeninin sıfır olmasıdır. Bu sınır koşullarıyla birlikte tabakaların yatay, homojen, izotrop ve Mantonunda sonsuza uzandığı varsayılmaktadır.

Açısal frekansı p ve yatay faz hızı c olan düzlem dalgalar gözönüne alınmaktadır. Problemin çözümü iki boyutlu olarak düşey düzlem içerisinde yapılmaktadır. x eksenini tabakalara paralel ve yayılma doğrultusunda pozitif, z eksenini tabakaların içine doğru, yani aşağı doğru pozitifdir. Yarı sonsuz ortamda $+z$ yönünde genliğin üstel olarak azaldığı ve y yönünde yerdeğiştirmenin değişmediği kabul edilir. Kabuksal transfer fonksiyonunun hesaplanması için Haskell (1953) ve Haskell (1962) çalışmaları izlenilir.



Şekil 3. Arayüzeyler, tabakaların numaralanışı ve eksenlerin yönleri

Ortamdaki m' inci tabaka için parametreler şu şekilde tanımlanabilir,

ρ_m = yoğunluk,

d_m = tabaka kalınlığı,

λ_m, μ_m = Lamé elastik sabitleri,

$\alpha_m = [(\lambda_m + 2\mu_m)/\rho_m]^{1/2}$ = P dalgasının yayılma hızı,

$\beta_m = [\mu_m/\rho_m]^{1/2}$ = S dalgasının yayılma hızı,

$k = p/c = 2\pi/\lambda$ yatay dalga boyu (λ)

$$r_{\alpha m} = \begin{cases} \left[(c/\alpha_m)^2 - 1 \right]^{1/2} & c > \alpha_m \\ -i \left[1 - (c/\alpha_m)^2 \right]^{1/2} & c < \alpha_m, \end{cases}$$

$$r_{\beta m} = \begin{cases} \left[(c/\beta_m)^2 - 1 \right]^{1/2} & c > \beta_m \\ -i \left[1 - (c/\beta_m)^2 \right]^{1/2} & c < \beta_m, \end{cases}$$

$$\gamma_m = 2(\beta_m/c)^2,$$

$u, w = x$ ve z yönlerindeki yerdeğiştirme bileşenleri,

$\sigma = Z_z$ = normal gerilme,

$\tau = X_z$ = tanjansiyel gerilme,

Ayrıca, m' inci tabaka için P dalga çözümü

$$\begin{aligned} \Delta_m &= (\partial u / \partial x) + (\partial w / \partial z) \\ &= \exp[i(pt - kx)] \left[\Delta'_m \exp(-ikr_{\alpha m} z) + \Delta''_m \exp(ikr_{\alpha m} z) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

ve S dalga çözümü ise,

$$\begin{aligned}
w_m &= (1/2)[(\partial u/\partial z) - (\partial w/\partial x)] \\
&= \exp[i(pt - kx)] \left[w'_m \exp(-ikr_{\beta m} z) + w''_m \exp(ikr_{\beta m} z) \right]
\end{aligned} \tag{15}$$

olarak verilir. (14) ve (15) denklemlerinde Δ'_m , Δ''_m , w'_m , w''_m ifadeleri arayüzeye gelen ve arayüzeyden yansıyan P ve S dalgalarının genlikleridir. Δ'_m terimi, $r_{\alpha m}$ gerçel olduğu zaman doğrultusu $+z$ doğrultusuyla $\cot^{-1} r_{\alpha m}$ açısı yapan bir düzlem dalgayı ve $r_{\alpha m}$ sanal olduğu zaman $+z$ doğrultusunda genlikleri üstel olarak azalan ve $+x$ doğrultusunda seyahat eden dalgayı temsil eder. Benzer olarak, Δ''_m terimi, $r_{\alpha m}$ gerçel olduğu zaman $-z$ doğrultusuyla aynı açısı yapan bir düzlem dalgayı ve $r_{\alpha m}$ sanal olduğu zaman $+z$ doğrultusunda genlikleri üstel olarak artan ve $+x$ doğrultusunda seyahat eden dalgayı temsil eder. $r_{\alpha m}$ yerine $r_{\beta m}$ konulmasıyla aynı gösterimler w'_m ve w''_m 'deki terimlere uygulanır.

(14) ve (15) ile verilen P ve S dalgalarına tekabül eden yerdeğişiklikler ve ilgili gerilme bileşenleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u = -(\alpha_m/p)^2 (\partial \Delta_m / \partial x) - 2(\beta_m/p)^2 (\partial w_m / \partial z) \tag{16}$$

$$w = -(\alpha_m/p)^2 (\partial \Delta_m / \partial z) + 2(\beta_m/p)^2 (\partial w_m / \partial x) \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= \rho_m \left[\alpha_m^2 \Delta_m + 2\beta_m^2 \left\{ (\alpha_m/p)^2 \left(\partial^2 \Delta_m / \partial x^2 \right) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. 2(\beta_m/p)^2 \left(\partial^2 w_m / \partial x \partial z \right) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
\tau &= 2\rho_m \beta_m^2 \left[-(\alpha_m/p)^2 \left(\partial^2 \Delta_m / \partial x \partial z \right) + \right. \\
&\quad \left. (\beta_m/p)^2 \left\{ \left(\partial^2 w_m / \partial x^2 \right) - \left(\partial^2 w_m / \partial z^2 \right) \right\} \right]
\end{aligned} \tag{19}$$

İki tabaka arasındaki arayüzeyde yukarıdaki dört ifade süreklidir. c' nin bütün tabakalarda sabit olmasından dolayı partikül hızları olan \bar{u} ve \bar{w} de süreklidir ($\bar{u} = du/dt$ ve $\bar{w} = dw/dt$). (14) ve (15) ifadelerinde sınır koşulları uygulandığında,

$$\begin{aligned} \bar{u}/c = & -(\alpha_m/c)^2 [(\Delta'_m + \Delta''_m) \cos kr_{\alpha m} z - i(\Delta'_m - \Delta''_m) \sin kr_{\alpha m} z] \\ & - \gamma_m r_{\beta m} [(w'_m - w''_m) \cos kr_{\beta m} z - i(w'_m + w''_m) \sin kr_{\beta m} z] \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \bar{w}/c = & -(\alpha_m/c)^2 r_{\alpha m} [-i(\Delta'_m + \Delta''_m) \sin kr_{\alpha m} z + (\Delta'_m - \Delta''_m) \cos kr_{\alpha m} z] \\ & + \gamma_m [-i(w'_m - w''_m) \sin kr_{\beta m} z + (w'_m + w''_m) \cos kr_{\beta m} z] \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sigma = & -\rho_m \alpha_m^2 (\gamma_m - 1) [(\Delta'_m + \Delta''_m) \cos kr_{\alpha m} z - i(\Delta'_m - \Delta''_m) \sin kr_{\alpha m} z] \\ & - \rho_m c^2 \gamma_m^2 r_{\beta m} [(w'_m - w''_m) \cos kr_{\beta m} z - i(w'_m + w''_m) \sin kr_{\beta m} z] \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \tau = & \rho_m \alpha_m^2 \gamma_m r_{\alpha m} [-i(\Delta'_m + \Delta''_m) \sin kr_{\alpha m} z + (\Delta'_m - \Delta''_m) \cos kr_{\alpha m} z] \\ & - \rho_m c^2 \gamma_m (\gamma_m - 1) [-i(w'_m - w''_m) \sin kr_{\beta m} z + (w'_m + w''_m) \cos kr_{\beta m} z] \end{aligned} \quad (23)$$

sonuçlarına varılabilir. Matris biçiminde ise

$$\begin{aligned} (\bar{u}_{m-1}/c, \bar{w}_{m-1}/c, \sigma_{m-1}, \tau_{m-1}) = E_m (\Delta'_m + \Delta''_m, \Delta'_m - \Delta''_m, \\ w'_m - w''_m, w'_m + w''_m) \end{aligned} \quad (24)$$

olarak yazılabilir. Burada E_m matrisi

$$E_m = \begin{bmatrix} -(\alpha_m/c)^2 & 0 & -\gamma_m r_{\beta m} & 0 \\ 0 & -(\alpha_m/c)^2 r_{\alpha m} & 0 & \gamma_m \\ -\rho_m \alpha_m^2 (\gamma_m - 1) & 0 & -\rho_m c^2 \gamma_m^2 r_{\beta m} & 0 \\ 0 & \rho_m \alpha_m^2 \gamma_m r_{\alpha m} & 0 & -\rho_m c^2 \gamma_m (\gamma_m - 1) \end{bmatrix} \quad (25)$$

şekilindedir. E_m matrisi frekansa bağlı değildir. (20) - (23) eşitliklerinde tabaka kalınlıkları kullanıldığında

$$(\bar{u}_m/c, \bar{w}_m/c, \sigma_m, \tau_m) = D_m (\Delta'_m + \Delta''_m, \Delta'_m - \Delta''_m, w'_m - w''_m, w'_m + w''_m) \quad (26)$$

ifadesi düzenlenebilir ve D_m matrisi ise,

$$D_m = \begin{bmatrix} -(\alpha_m/c)^2 \cos P_m & i(\alpha_m/c)^2 \sin P_m & -\gamma_m r \beta_m \cos Q_m & i\gamma_m r \beta_m \sin Q_m \\ i(\alpha_m/c)^2 r_{cm} \sin P_m & -(\alpha_m/c)^2 r_{cm} \cos P_m & -i\gamma_m \sin Q_m & \gamma_m \cos Q_m \\ -\rho_m \alpha_m^2 (\gamma_m - 1) \cos P_m & i\rho_m \alpha_m^2 (\gamma_m - 1) \sin P_m & -\rho_m c^2 \gamma_m^2 r \beta_m \cos Q_m & i\rho_m c^2 \gamma_m^2 r \beta_m \sin Q_m \\ -i\rho_m \alpha_m^2 r_{cm} \sin P_m & \rho_m \alpha_m^2 \gamma_m r_{cm} \cos P_m & i\rho_m c \gamma_m (\gamma_m - 1) \sin Q_m & -\rho_m c^2 \gamma_m (\gamma_m - 1) \cos Q_m \end{bmatrix} \quad (27)$$

şekilinde yazılabilir. Burada, $P_m = kr_{\alpha m} d_m$ ve $Q_m = kr_{\beta m} d_m$.

$(\Delta'_m + \Delta''_m)$ ifadesi (24) ve (25) eşitlikleri arasında yapılan işlemle yok edilebilir. m 'inci tabakanın alt ve üst sınırındaki $\bar{u}/c, \bar{w}/c, \sigma$, ve τ değerleri arasındaki doğrusal ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$(\bar{u}_m/c, \bar{w}_m/c, \sigma_m, \tau_m) = D_m E_m^{-1} (\bar{u}_{m-1}/c, \bar{w}_{m-1}/c, \sigma_{m-1}, \tau_{m-1}) \quad (28)$$

E_m matrisi, D_m matrisinde $z=0$ konularak elde edilen matristir. E_m^{-1} matrisi E_m matrisinin tersidir ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E_m^{-1} = \begin{bmatrix} -2(\beta_m/\alpha_m)^2 & 0 & (\rho_m \alpha_m^2)^{-1} & 0 \\ 0 & c^2 (\gamma_m - 1) / \alpha_m^2 r_{cm} & 0 & (\rho_m \alpha_m^2 r_{cm})^{-1} \\ (\gamma_m - 1) / \gamma_m r \beta_m & 0 & -(\rho_m c^2 \gamma_m r \beta_m)^{-1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & (\rho_m c^2 \gamma_m)^{-1} \end{bmatrix} \quad (29)$$

(27) ve (29) eşitliklerindeki matris elemanlarının çarpımı olan $a_m = D_m E^{-1}_m$ matrisi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$(a_m)_{11} = \gamma_m \cos P_m - (\gamma_m - 1) \cos Q_m$$

$$(a_m)_{12} = i \left[(\gamma_m - 1) r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + \gamma_m r_{\beta m} \sin Q_m \right]$$

$$(a_m)_{13} = -(\rho_m c^2)^{-1} (\cos P_m - \cos Q_m)$$

$$(a_m)_{14} = i (\rho_m c^2)^{-1} (r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + r_{\beta m} \sin Q_m)$$

$$(a_m)_{21} = -i \left[\gamma_m r_{\alpha m} \sin P_m + (\gamma_m - 1) r_{\beta m}^{-1} \sin Q_m \right]$$

$$(a_m)_{22} = -(\gamma_m - 1) \cos P_m + \gamma_m \cos Q_m$$

$$(a_m)_{23} = i (\rho_m c^2)^{-1} (r_{\alpha m} \sin P_m + r_{\beta m}^{-1} \sin Q_m)$$

$$(a_m)_{24} = (a_m)_{13}$$

$$(a_m)_{31} = \rho_m c^2 \gamma_m (\gamma_m - 1) (\cos P_m - \cos Q_m)$$

$$(a_m)_{32} = i \rho_m c^2 \left[(\gamma_m - 1)^2 r_{\alpha m}^{-1} \sin P_m + \gamma_m^2 r_{\beta m} \sin Q_m \right]$$

$$(a_m)_{33} = (a_m)_{22}$$

$$(a_m)_{34} = (a_m)_{12}$$

$$(a_m)_{41} = i \rho_m c^2 \left[\gamma_m^2 r_{\alpha m} \sin P_m + (\gamma_m - 1)^2 r_{\beta m}^{-1} \sin Q_m \right]$$

$$(a_m)_{42} = (a_m)_{31}$$

$$(a_m)_{43} = (a_m)_{21}$$

$$(a_m)_{44} = (a_m)_{11}$$

a_m matrisinin elemanları tabaka parametrelerine, ışının geliş açısına ve frekansa bağlıdır. Sınır koşulları, m ' inci tabakanın üst sınırında hesaplanan

$\bar{u}/c, \bar{w}/c, \sigma$ ve τ değerlerinin $(m-1)$ ' inci tabakanın alt sınırındaki hız ve gerilmeler ile aynı olmasını gerektirir. Bundan dolayı,

$$(\bar{u}_m/c, \bar{w}_m/c, \sigma_m, \tau_m) = \mathbf{a}_m \mathbf{a}_{m-1} (\bar{u}_{m-2}/c, \bar{w}_{m-2}/c, \sigma_{m-2}, \tau_{m-2}) \quad (30)$$

ifadesini kullanabiliriz. Bu ilişki her bir sınır için uygulandığında yeryüzeyindeki hız ve yerdeğiştirmeler, tabakalı yapının alt sınırındaki hız ve yerdeğiştirmeler cinsinden elde edilebilir.

Eşitlik (30)' un tekrar uygulanması ile,

$$(\bar{u}_{n-1}/c, \bar{w}_{n-1}/c, \sigma_{n-1}, \tau_{n-1}) = \mathbf{a}_{n-1} \mathbf{a}_{n-2} \dots \mathbf{a}_1 (\bar{u}_0/c, \bar{w}_0/c, \sigma_0, \tau_0) \quad (31)$$

eşitliğini elde ederiz. n ' inci tabaka için eşitlik (24)' ün tersinin uygulanmasından

$$(\Delta'_n + \Delta''_n, \Delta'_n - \Delta''_n, w'_n - w''_n, w'_n + w''_n) = \mathbf{E}_n^{-1} \mathbf{a}_{n-1} \mathbf{a}_{n-2} \dots \mathbf{a}_1 (\bar{u}_0/c, \bar{w}_0/c, \sigma_0, \tau_0) \quad (32)$$

yazılabilir. Eşitlik (32), tabakalı ortam içinden geçerek ilerleyen dalgalara ve aynı zamanda yüzey dalgalarına da uygulanabilir. Serbest yüzeyde gerilmeler yoktur, $\sigma_0 = \tau_0 = 0$.

Eşitlik (32)' de $\mathbf{E}_n^{-1} \mathbf{a}_{n-1} \mathbf{a}_{n-2} \dots \mathbf{a}_1$ matris çarpımı yerine \mathbf{J} yazılırsa,

$$(\Delta'_n + \Delta''_n, \Delta'_n - \Delta''_n, w'_n - w''_n, w'_n + w''_n) = \mathbf{J} (\bar{u}_0/c, \bar{w}_0/c, 0, 0)$$

veya

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_n + \Delta''_n &= J_{11} \bar{u}_0/c + J_{12} \bar{w}_0/c \\ \Delta'_n - \Delta''_n &= J_{21} \bar{u}_0/c + J_{22} \bar{w}_0/c \\ w'_n - w''_n &= J_{31} \bar{u}_0/c + J_{32} \bar{w}_0/c \\ w'_n + w''_n &= J_{41} \bar{u}_0/c + J_{42} \bar{w}_0/c \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

elde edilir. (33) bağıntısı yarı - sonsuz ortam üzerindeki n tabakalı paralel izotrop ve homojen bir ortama gelen dalgalar nedeniyle oluşan serbest yüzeydeki gerilmeler ve yerdeğiştirmelerin ifadesini vermektedir.

2.5.1. Yarı - sonsuz ortama gelen P dalgası

Düzlem harmonik P dalgaları yatay olarak tabakalanmış kabuk temeline herhangi bir açıda geldiği zaman, tabaka matrislerinin terimlerindeki ifadeler serbest yüzey hareketi için düzenlenebilir. Eşitlik (33)' de Δ ve w sırasıyla, P ve SV dalgalarının genlikleridir. Δ''_n, w''_n ve Δ'_n, w'_n sırasıyla yukarı doğru giden ve aşağı doğru giden P ve S dalgalarını gösterir. c parametresi yatay faz hızıdır. \bar{u}_0 ve \bar{w}_0 terimleri sırasıyla, serbest yüzeydeki tanecik hızının yatay ve düşey bileşenleridir.

n ' inci tabakada P dalgası gelmesi durumunda $\Delta''_n = 1$ alınabilir. Gelen SV dalgası olmadığından $w''_n = 0$ ' dir. Bu durumu göstermek için altındis p kullanılmıştır ve geriye kalan dört nicelik için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_{np} + 1 &= J_{11} \bar{u}_0/c + J_{12} \bar{w}_0/c \\ \Delta'_{np} - 1 &= J_{21} \bar{u}_0/c + J_{22} \bar{w}_0/c \\ w'_{np} &= J_{31} \bar{u}_0/c + J_{32} \bar{w}_0/c \\ w'_{np} &= J_{41} \bar{u}_0/c + J_{42} \bar{w}_0/c \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

(33) eşitliğinde taraf tarafa toplama işleminden sonra,

$$2\Delta''_n = \bar{u}_0/c(J_{11} - J_{21}) + \bar{w}_0/c(J_{12} - J_{22}) \quad (35)$$

$$-2w''_n = \bar{u}_0/c(J_{31} - J_{41}) + \bar{w}_0/c(J_{32} - J_{42}) \quad (36)$$

ve ayrıca $\Delta''_n = 1, w''_n = 0$ olduğundan,

$$2 = \bar{u}_0/c(J_{11} - J_{21}) + \bar{w}_0/c(J_{12} - J_{22}) \quad (37)$$

$$0 = \bar{u}_0/c(J_{31} - J_{41}) + \bar{w}_0/c(J_{32} - J_{42}) \quad (38)$$

ifadeleri elde edilir.

$$D = (J_{32} - J_{42})(J_{11} - J_{21}) - (J_{12} - J_{22})(J_{31} - J_{41}) \quad (39)$$

olmak üzere

$$-\bar{w}_0/c = 2(J_{31} - J_{41})D^{-1} \quad (40)$$

$$\bar{u}_0/c = 2(J_{32} - J_{42})D^{-1} \quad (41)$$

sonuçları bulunabilir. (40) ve (41) ifadeleri eşitlik (34)' de yerine konulursa;

$$\Delta'_{np} = D^{-1}[(J_{11} + J_{21})(J_{32} - J_{42}) - (J_{12} + J_{22})(J_{31} - J_{41})] \quad (42)$$

$$w'_{np} = 2D^{-1}(J_{32}J_{41} - J_{31}J_{42}). \quad (43)$$

Eşitlik (24) ve (25)' den n^{ci} tabakanın üst sınırında \bar{u}/c ve \bar{w}/c ' nin değerleri

$$\bar{u}_{n-1}/c = -(\alpha_n/c)^2(\Delta'_n + \Delta''_n) - \gamma_n r_{\beta n}(w'_n - w''_n) \quad (44)$$

$$\bar{w}_{n-1}/c = -(\alpha_n/c)^2 r_{\alpha n}(\Delta'_n - \Delta''_n) + \gamma_n(w'_n + w''_n) \quad (45)$$

olarak bulunabilir. Normalizasyon işleminden sonra,

$$U_p = 2c^2(J_{42} - J_{32})/\alpha_n^2 D \quad (46)$$

$$W_p = 2c^2 (J_{41} - J_{31}) / \alpha_n^2 r_{\alpha n} D. \quad (47)$$

Frekansa bağılı kompleks fonksiyonlar olan bu ifadeler yer kabuğu tabanına giriş olarak verilen hareketin serbest yüzeyde çıkışını veren radyal ve düşey bileşen transfer fonksiyonlarıdır. Transfer fonksiyonu tabaka parametrelerine, yüzeydeki görünür hıza ve ışının geliş açısına bağlıdır.

2.6. Uygulamalar

Yapılan bu çalışma ile dünyanın değişik bölgelerinde oluşmuş telesismik depremlerin üç bileşen P dalgası kayıtları kullanılarak TBZ sismik istasyonunun altındaki kabuk yapısı belirlenmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümündeki TBZ sismik istasyonu 1996 yılından itibaren sayısal geniş-bandlı üç bileşen deprem kayıtlarını aktif olarak kaydetmektedir. Alıcı fonksiyon hesabı için gerekli olan veriler son iki yıl içerisinde kaydedilen depremler arasından seçilmiştir. Kullanılacak verilerin seçilmesi esnasında bazı hususlara dikkat edilmiştir. İlk olarak episantr uzaklığı 20° den büyük olan deprem kayıtları seçilmiştir. Ayrıca telesismik olaylar için P dalgaları dikeye yakın gelir ve yer hareketinin düşey bileşeninde kendini gösterir. Episantr uzaklığı 20° den daha uzak olaylar seçilmeye çalışılsa da, episantr uzaklığı $103^\circ - 143^\circ$ arasında olan olaylar dikkate alınmamıştır. Çünkü bu aralık gölge zonuna tekabül eder ve P dalgası bu aralıkta dış çekirdekten dolayı difraksiyona uğrar. Alıcı fonksiyon hesabı için episantr uzaklığı uygun olan kayıtlar belirlendikten sonra, bunlar arasında mümkün olduğunca sinyal/gürültü oranı yüksek olan kayıtlar seçilerek hesaplamada kullanılmıştır. Ayrıca güçlü enerji varışlarının elde edilebilmesi için manyitüdü 5.5' dan büyük depremler tercih edilmiştir. Alıcı fonksiyon hesabında kullanılmak için bu şartları sağlayan üç bileşen geniş-bandlı sayısal 39 tane deprem verisi seçilmiştir. Seçilen depremler ve bunların kaynak parametreleri Tablo 1' de verilmiştir.

Belirlenen deprem kayıtlarının her biri için ilk P varışından 40 sn öncesi ve 60 sn sonrası olmak üzere kayıtların 100 sn' lik kısımları dikkate alınarak Langston (1979) tarafından verilen kaynak eşitlik yöntemi ile gözlemsel alıcı fonksiyon hesabı yapılmıştır. Alıcı fonksiyon hesabı yapılırken mümkün olduğunca detaydan kaçmamak ve ayrımlılığı korumak için $\alpha=2$ ve $\bar{c}=0.001$ değerleri kullanılmıştır. Alıcı fonksiyon hesabı sırasında

Tablo 1. TBZ istasyonunda alıcı fonksiyon analizi için kullanılan deprem parametrelerinin listesi

Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Geri - azimut (derece)	Uzaklık (derece)	Manyitüd	Derinlik (km)	Yer	Yatay Yavaşlık (sn/km)
05/07/1996	23:20:00	43.708	147.607	45.91	73.37	6.2	54	Kuril Adaları	0.037
06/02/1996	02:52:09	10.797	-42.254	273.07	76.96	7.0	10	Kuzey Orta - Atlantik	0.035
06/10/1996	15:24:56	51.478	-176.847	22.03	82.19	7.1	26	Andeanof Adaları	0.032
06/10/1996	04:03:35	51.564	-177.632	22.43	81.89	7.6	33	Andeanof Adaları	0.033
* 06/11/1996	18:22:55	12.614	125.154	83.36	78.31	7.1	33 ^D	Samar, Filipin Adaları	0.034
* 06/17/1996	11:22:18	-7.137	122.589	100.09	89.30	7.9	587	Flores Denizi	0.029
* 10/01/1996	15:50:23	12.434	58.066	145.49	32.74	6.3	10	Arab Denizi	0.055
11/06/1996	20:00:58	27.999	143.538	60.15	81.41	6.5	9	Bonin Adaları	0.033
* 11/12/1996	16:59:44	-14.993	-75.675	275.05	118.89	7.7	33	Peru Sahilleri	0.037
01/11/1997	20:28:26	18.219	-102.756	321.66	111.35	7.0	33	Michoacan, Meksika	0.037
* 02/27/1997	21:08:02	29.976	68.208	106.55	25.48	7.3	33	Pakistan	0.060
* 03/11/1997	19:21:23	8.134	126.345	86.07	82.09	5.7	88	Mindanao, Filipin	0.033
* 04/05/1997	04:36:35	39.537	76.998	80.55	28.22	5.9	33	Güney Xnjiang, Çin	0.057
* 06/25/1997	19:38:40	33.938	59.475	108.02	17.10	5.9	10	Kuzey İran	0.080
* 09/26/1997	00:33:12	43.048	12.879	284.87	20.00	5.9	10	İtalya	0.069
* 09/26/1997	09:40:26	43.084	12.812	284.98	20.05	6.4	10	İtalya	0.068
10/13/1997	13:39:37	36.379	22.071	257.26	14.54	6.6	24	Yunanistan	0.082
* 10/14/1997	15:23:10	42.962	12.892	284.62	20.00	5.7	10	İtalya	0.069
* 10/15/1997	01:03:33	-30.933	-71.220	256.90	124.69	7.1	58	Şili Sahilleri	0.037
* 10/28/1997	06:15:17	-4.368	-76.681	284.69	112.69	6.6	112	Kuzey Peru	0.037
* 11/08/1997	10:02:52	35.069	87.325	83.26	37.45	7.9	33	Xizang, Çin	0.053
* 11/25/1997	12:14:33	1.241	122.536	93.83	83.72	6.8	24	Minahassa Peninsula	0.032

Tablo 1' in devamı

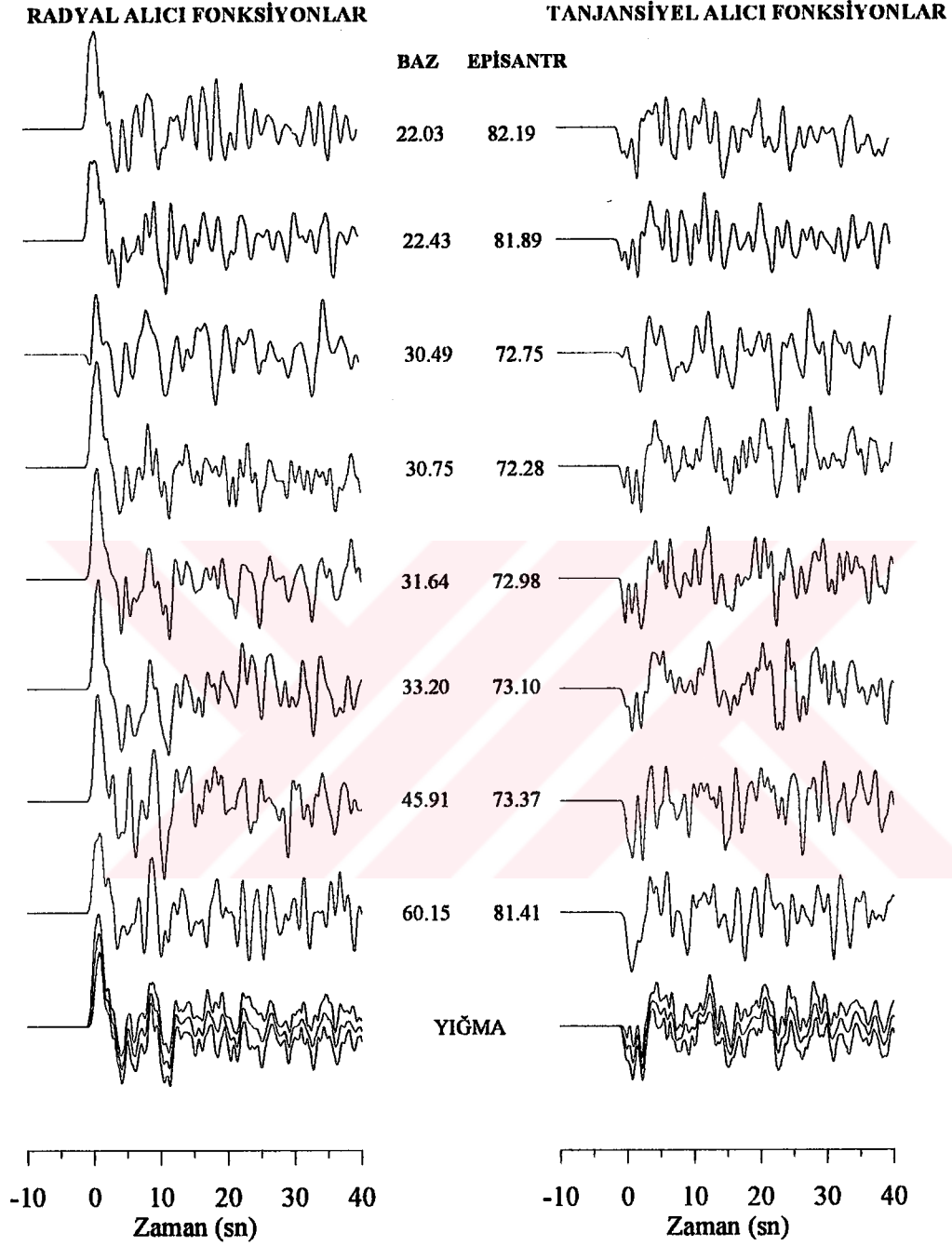
12/05/1997	11:26:54	54.841	162.035	30.75	72.28	7.6	33	Kamchatka Sahilleri	0.037
12/05/1997	18:48:22	53.752	161.746	31.64	72.98	6.5	33	Kamchatka Sahilleri	0.037
12/07/1997	17:56:18	54.658	162.882	30.49	72.75	6.1	33	Kamchatka Sahilleri	0.037
* 01/30/1998	12:16:09	-23.510	-69.830	263.45	119.60	6.4	44	Kuzey Şili	0.037
* 02/04/1998	14:33:21	37.070	70.200	89.48	23.83	6.1	33	Afganistan - Rusya Sınırı	0.061
02/17/1998	23:53:19	52.720	-33.610	310.00	49.26	6.6	10	Kuzey Atlantik Okyanusu	0.048
* 02/19/1998	14:14:51	-4.440	129.020	93.86	92.34	6.5	33	Banda Denizi	0.029
* 02/20/1998	12:18:06	36.450	71.070	90.33	24.69	5.9	234	Afganistan - Rusya Sınırı	0.058
* 03/14/1998	19:40:30	30.080	57.610	121.44	18.09	6.9	33	İran	0.076
03/21/1998	16:33:10	79.780	2.400	350.60	41.24	6.2	10	Greenland Denizi	0.052
03/21/1998	18:22:27	36.410	70.150	91.04	24.01	6.0	223	Hindu - Kush Bölgesi	0.059
03/22/1998	01:08:57	-11.380	66.170	148.99	57.76	6.1	10	Hindistan	0.044
* 04/12/1998	10:55:32	49.255	13.665	303.00	20.10	6.0	10	Avusturya	0.068
04/29/1998	03:30:39	36.178	21.919	256.8	14.8	5.3	33	Güney Yunanistan	0.082
* 05/03/1998	23:30:22	22.490	123.300	76.50	70.75	7.3	33	Güney Tayvan	0.053
* 05/30/1998	06:22:28	37.210	69.930	89.30	23.70	6.9	33	Afganistan - Rusya Sınırı	0.061
06/01/1998	05:34:01	52.940	159.830	33.20	73.10	6.2	33	Kamchatka Sahilleri	0.037

* Ters çözüm için kullanılan depremler.

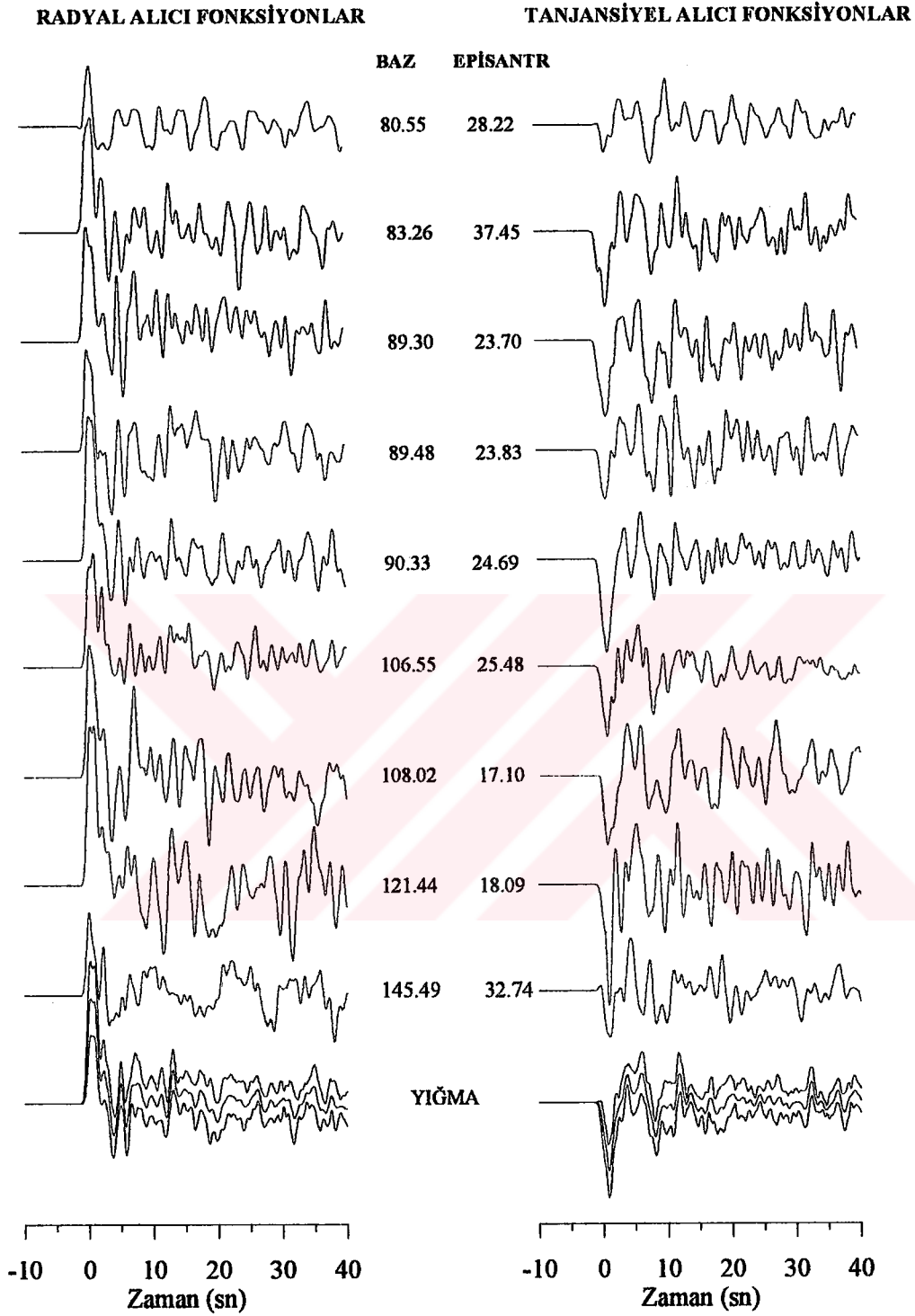
yapılan dekonvolüsyon işlemi hem frekans ortamında hemde zaman ortamında yapılmıştır. Tablo 1' deki bütün olaylar için bu iki ortamda işlem yapıldıktan sonra alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenlerinin polarite ve dalga fazlarının durumları incelenmiştir. Ayrıca elde edilen deprem gurupları için hesaplanan alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenleri, sismogram üzerinde dekonvolüsyon işlemi sonucunda veya doğal sebeplerden dolayı oluşan gürültünün etkisini gidermek için yığılmıştır. Her Δt örnekleme noktası için ± 1 standart sapma ile dalga şekilleri hesaplanmıştır. Deprem gurupları 1, 2, 3, 4 ve 5' deki geri-azimut değerleri için hesaplanan radyal ve tanjansiyel bileşen alıcı fonksiyon dalga şekilleri ve bunların ± 1 standart sapma ile yığılmasından elde edilen dalga şekilleri sırası ile Şekil 4, 5, 6, 7 ve 8' de gösterilmektedir. Her deprem grubundaki dalga şekillerini alıcı fonksiyon yöntemi ile sağlıklı bir şekilde analiz edebilmek için veri sayısının yeterli olması gerekmektedir.

Şekil 4' de, her bir depremin radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri incelendiğinde, yaklaşık ilk 20 sn' de dalga fazlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Deprem kayıtlarının hepsi aynı nitelikte sinyal içeriğine sahip olmadığından dolayı hesaplanan bazı alıcı fonksiyon bileşenlerinin üzerinde dalga fazlarının uyumluluğu güçlkle görülebilmektedir. Bu nedenle, her bir deprem grubu için yapılan yığma işleminden sonra radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri daha güvenilir sonuçlar vermektedir. TBZ sismik istasyonun kuzey doğusunda olan deprem grubu 1, hem kıtasal hemde okyanusal yapıdan etkilenecek gelen depremleri içermektedir. Bu grup için ilk P dalgasının polaritesi radyal alıcı fonksiyon bileşeninde pozitif yönü gösterirken tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde ise negatif yönü göstermektedir.

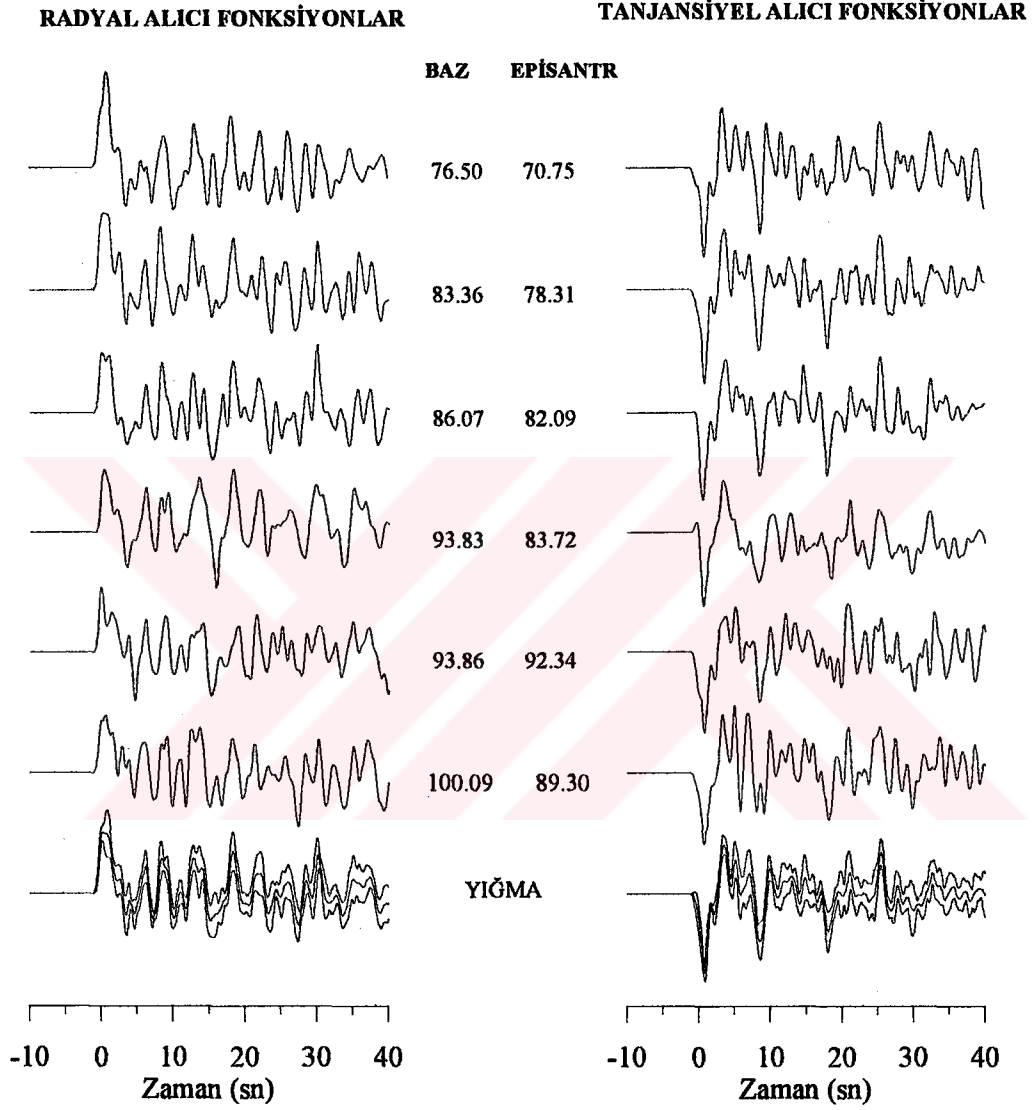
Şekil 5' de deprem grubu 2 için 9 tane deprem verisi incelenmiştir. Uzak depremler küçük geliş açısına sahip oldukları için ilk P dalgası düşey bileşende büyük genlikli olarak kendini gösterir. Bu nedenle, grup 2' nin episantr uzaklığı grup 1' e göre düşük olduğundan, grup 2' de hesaplanan alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenlerinde genlik seviyelerinin grup 1' e göre yüksek olduğu görülmektedir. TBZ sismik istasyonun doğusunda olan grup 2 kıtasal yapıdan etkilenecek gelen depremleri içerir. Ayrıca bu grup içerisinde olan depremlerin sinyal bakımından diğer gruptakilere göre daha güçlü olduğu alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenlerinde açıkça görülmektedir. Her bir deprem için radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri incelendiğinde dalga fazlarının oldukça birbirine uyumlu olduğu açıktır. P dalgası polariteleri radyal alıcı fonksiyon bileşenlerinde pozitif ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde ise negatif yönü göstermektedir.



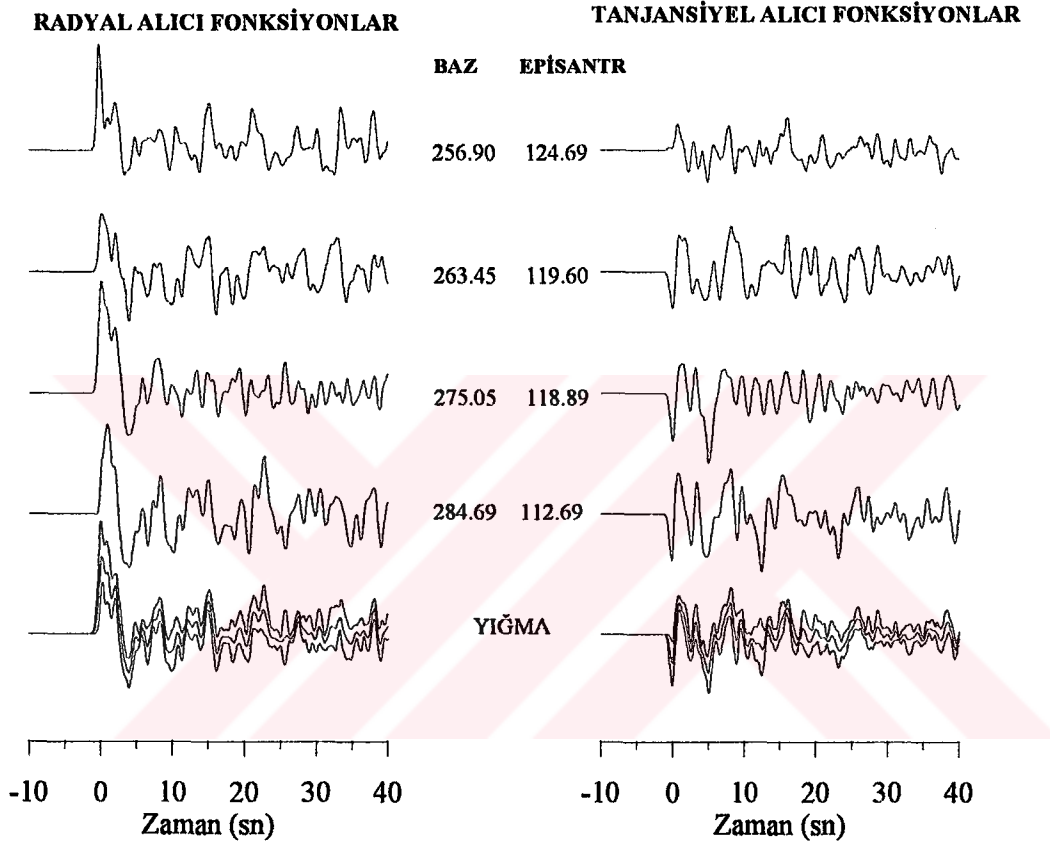
Şekil 4. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 1' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga formları ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir



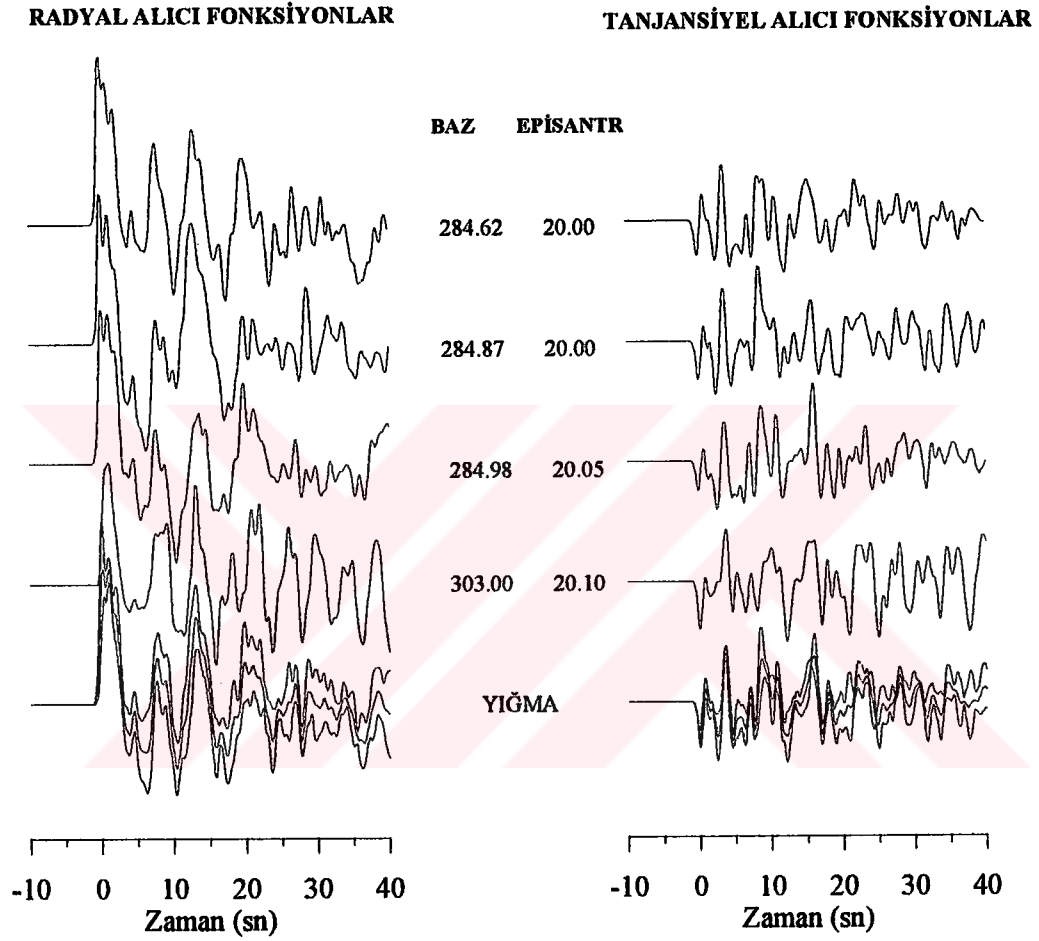
Şekil 5. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 2' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga formları ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir



Şekil 6. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 3' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga formları ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir



Şekil 7. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 4' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga formları ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir



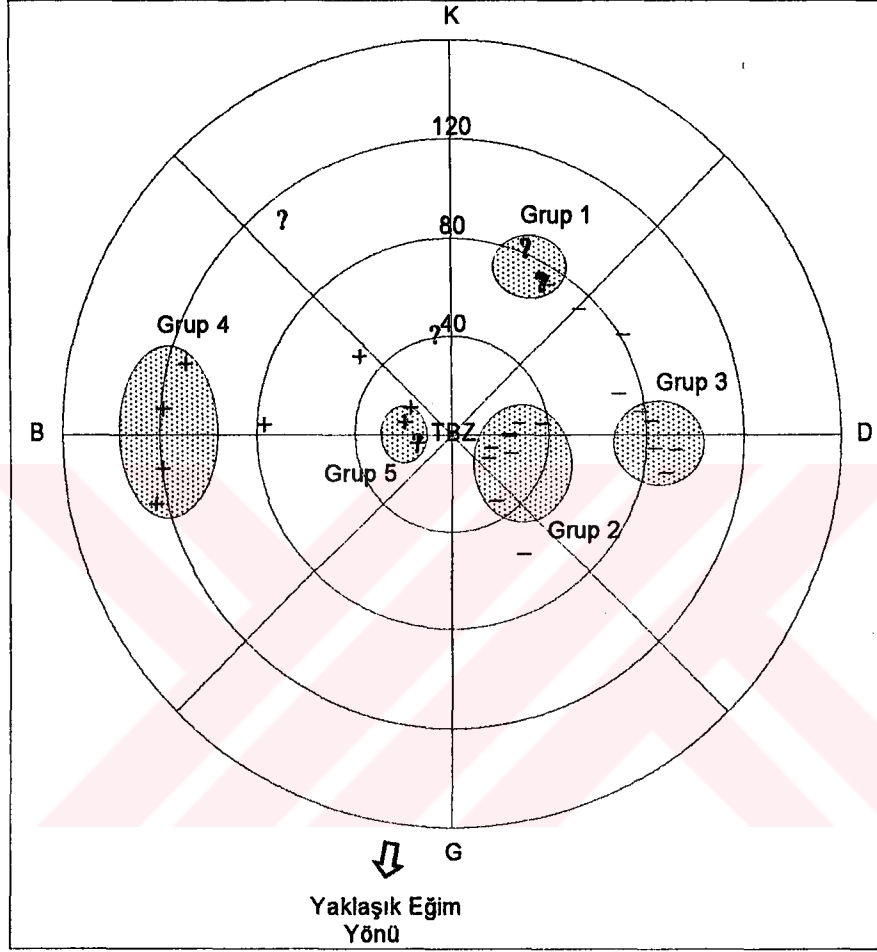
Şekil 8. TBZ istasyonunda kayıt edilen grup 5' deki depremlerin radyal, tanjansiyel ve yığma alıcı fonksiyon bileşenleri. Yığma dalga formları ± 1 standart sapma ile gösterilmiştir

Şekil 6' da grup 3 için 6 adet deprem verisi alıcı fonksiyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu gruptaki radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin diğer gruptakilerine göre oldukça gürültü içeriğine sahip olduğu ve bu bileşenlerin yığılmasından sonra grup 3' ün daha sakinleştiği belirgin olarak görülmektedir. Episantr uzaklığı büyük olduğu için dalga şeklinin genlik seviyesinin düştüğü açıktır. Grup 3 kıtasal özellik taşıyan grup 2' nin daha doğusundaki depremleri içermektedir. Bu gruptaki alıcı fonksiyon bileşenlerinin polariteleri hemen hemen aynı geri-azimut' dan gelen grup 2' ye benzer yönelimler göstermektedir.

Şekil 7' de grup 4 için 4 adet deprem verisi incelenmiştir. Bu gruptaki depremler uzakdan geldiği ve gürültü içerdiği için radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri oldukça düşük genlikli olarak görülmektedir. Bu nedenle grup 4' deki radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin polaritelerini tek tek incelemektense bunların yığılmasıyla elde edilen alıcı fonksiyon bileşenlerinin incelenmesi daha sağlıklı bilgi vermektedir. TBZ sismik istasyonun batısında olan grup 4 kıtasal yapıdan etkilenen depremleri içerir. Diğer üç deprem grubunun tam ters kadranında olan bu gruptaki radyal alıcı fonksiyon bileşenindeki P dalgası pozitif yönde polarite gösterirken tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde ise anizotropinin etkisi ile birlikte pozitif yönde polarite göstermektedir. Tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninin radyal alıcı fonksiyon bileşenine göre zaman olarak gecikmiş olduğu görülmektedir.

Şekil 8' de grup 5 için 4 adet deprem verisi incelenmiştir. Bu deprem grubu grup 4 ile yaklaşık aynı geri-azimut' dan olmasına rağmen genlik seviyesinin oldukça büyük olduğu dikkati çekmektedir. Çünkü, bu gruptaki depremler yakın uzaklıktan gelmektedir ve büyük geliş açısına sahiptirler. Radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyonların P dalgası polariteleri grup 4 ile benzer özellikleri taşıdığı belirgin olarak görülmektedir. Bunlara ilave olarak, grup 2 ve 3' deki tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin genlik seviyeleri grup 4 ve 5' den büyük olduğu göze çarpmaktadır.

Genel olarak, yapılan hesaplamalarda Moho süreksizliği yatay olarak alınır. Fakat Moho süreksizliğinin belli bir eğime sahip olması halinde farklı azimutlu olayların bu süreksizliğe geliş açıları ve kabuk içerisindeki yolları farklı olacaktır. Bu durumda dalga şekilleri azimuta bağımlı olarak değişiklikler göstereceği için farklı azimutlu olayların incelenmesi gerekmektedir. Şekil 9, 39 adet sayısal deprem verisi (Tablo 1) için hesaplanan tanjansiyel bileşen alıcı fonksiyon ilk P dalgası polaritelerinin, episantr uzaklığı ve geri-azimutun fonksiyonu olarak daire dilimleri üzerindeki dağılımlarını göstermektedir.

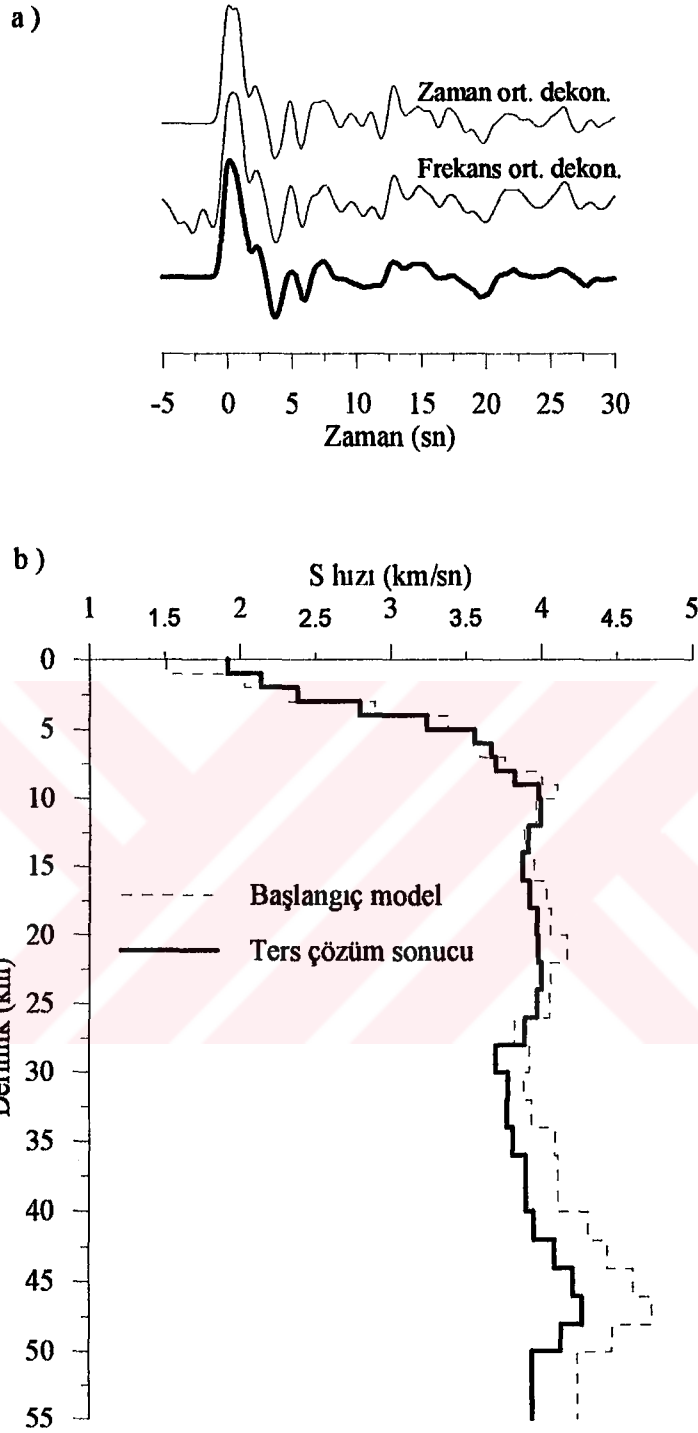


Şekil 9. Telesismik 39 deprem verisinin tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri ilk P dalgası polaritelerinin geri-azimut ve episantr uzaklığına göre dağılımı. Geri-azimut ve episantr uzaklığı benzer olaylar daireler içerisine alınarak gruplandırılmıştır. Zıt polariteler yaklaşık eğim yönünü belirtir

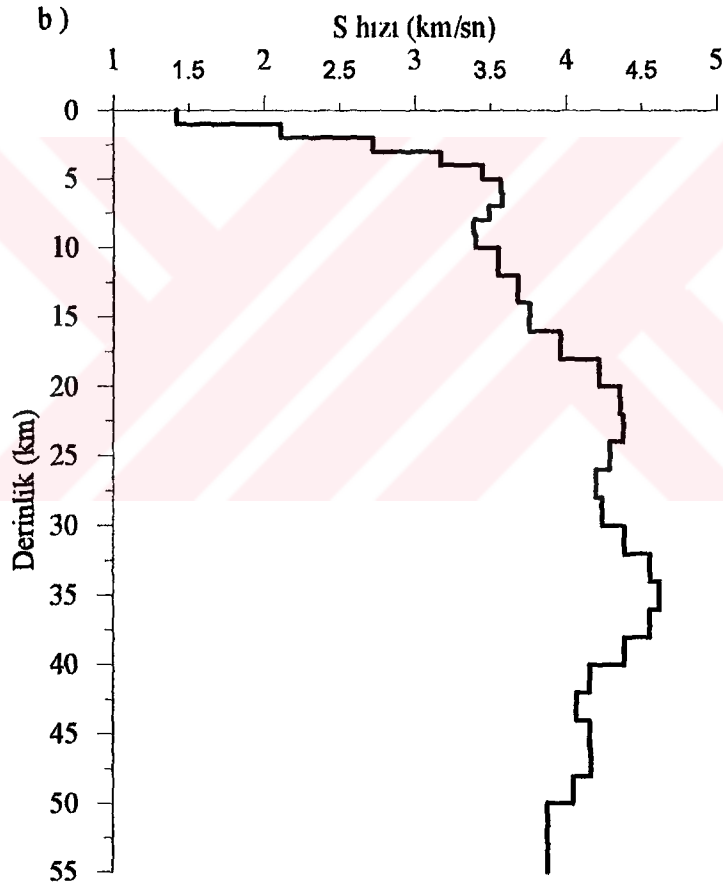
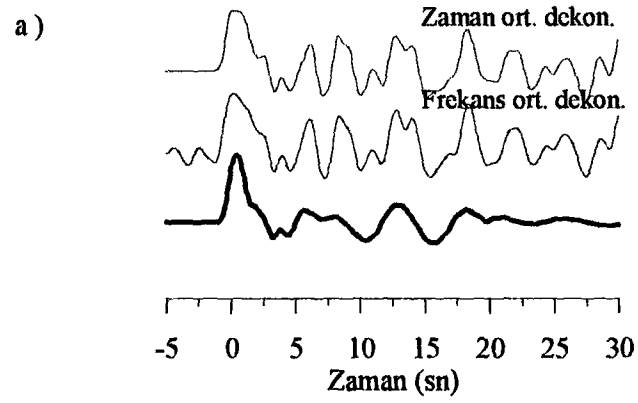
Tanjansiyel alıcı fonksiyon polaritesi pozitif yönlü olanlar (+) işareti ile, negatif yönlü olanlar (-) işareti ile ve belirgin olmayanlar ise (?) işareti ile gösterilmiştir. Ayrıca, benzer geri-azimut ve episantr uzaklığından gelen depremler ise kendi aralarında gruplandırılarak küçük dairelerle temsil edilmiştir (grup 1, 2, 3, 4 ve 5).

Hesaplanan P dalgası alıcı fonksiyon bileşenlerinden yararlanarak TBZ sismik istasyonu altındaki kabuk yapısının belirlenmesi basit olarak görünmesine rağmen bir çok güçlüklerle karşılaşılmasına neden olur. Telesismik P dalgası alıcı fonksiyonları oldukça fazla detay içeriğine sahip olduğu için ileri modelleme tekniği ile modellenmesi oldukça zordur. Bu nedenle ters çözüm yöntemleri son zamanlarda yapılan alıcı fonksiyon analizlerinde daha fazla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada teorisi önceki kısımda verilen frekans ortamı ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Ters çözüm işlemi sırasında frekans ortamında dekonvolüsyon edilerek hesaplanan radyal alıcı fonksiyon bileşeninden yararlanılmıştır. Ters çözüm işleminin tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenini içermemesinin sebebi, bu bileşenin yanal heterojeniteye çok duyarlı olması ve izotropik ve düzlem yapıdan sapmanın bir ölçüsünü yansıtmasıdır. Bunun yanısıra, radyal alıcı fonksiyonları S dalga hızlarına daha çok duyarlı olduğu için ters çözüm işleminde güvenilir olarak kullanılır.

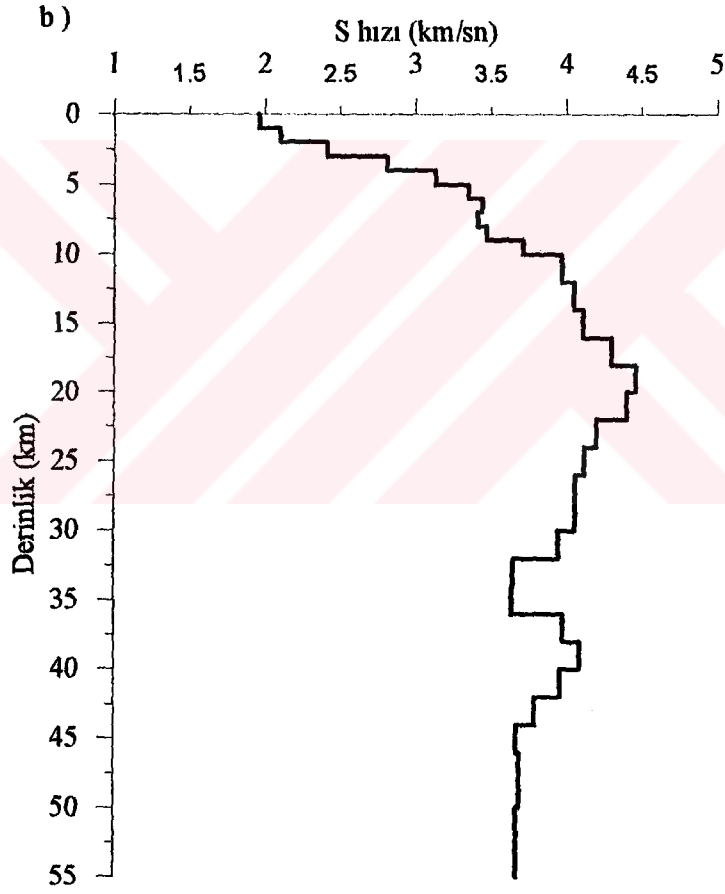
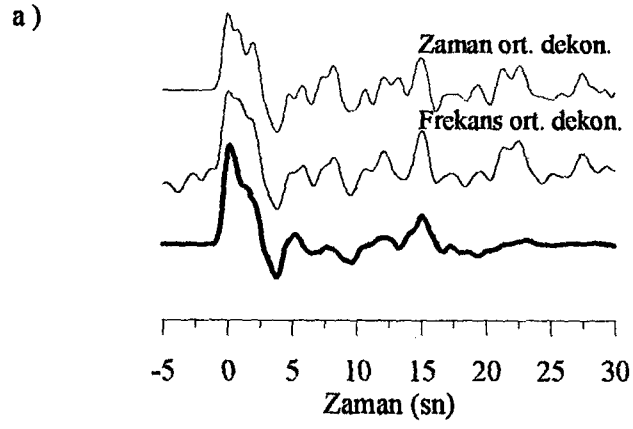
Ters çözüm yönteminde, her bir deprem için hesaplanan radyal alıcı fonksiyon bileşenlerinin kullanılması yerine, benzer geri-azimut düzlemini temsil eden gruplandırılmış verilerin yığılmasından elde edilen radyal alıcı fonksiyon bileşeninin kullanılması tercih edilmiştir. Frekans ortamı ters çözüm işleminde pürüzsüzlük (σ) ve yatay yavaşlık (u) parametreleri mümkün olduğunca hassas bir şekilde seçilmelidir. Pürüzsüzlük parametresi modelde veya modele tekabül eden sismogramda yuvarlatma işlemini yapar. Aynı zamanda da ters çözüm işlemi esnasında saçılmaların sebep olduğu etkileri gidermek için yardımcı olur. Yavaşlık parametresi ise incelenen deprem grubundaki bütün depremlerin geliş açılarının ortalamasını yansıtmaktadır. Yavaşlık parametresinin hesabı sırasında yarı - sonsuz ortamın ortalama hızı yaklaşık olarak 8.0 km/sn alınmıştır. Sonuçta, ters çözüm sonucundan elde edilen sentetik sismogram ile gözlemsel radyal alıcı fonksiyonun uyumluluk göstermesi istenmektedir. Ters çözüm hesabı sonunda elde edilen S dalgası hız modelinin gerçek yer yapısını yansıtabilmesi için başlangıç modelin seçimine dikkat edilmelidir. Başlangıç olarak seçilen model gerçek yer yapısına yakın olmalıdır. Ters çözüm hesaplamaları sırasında başlangıç model olarak incelediğimiz bölgeyi temsil ettiği düşünülen Mindevalli (1988)' in Türkiye' nin doğusu için önerdiği kabuk modeli tercih edilmiştir. Seçilen başlangıç modeli, pürüzsüzlük ve yatay yavaşlık parametrelerinin etkisiyle, her bir



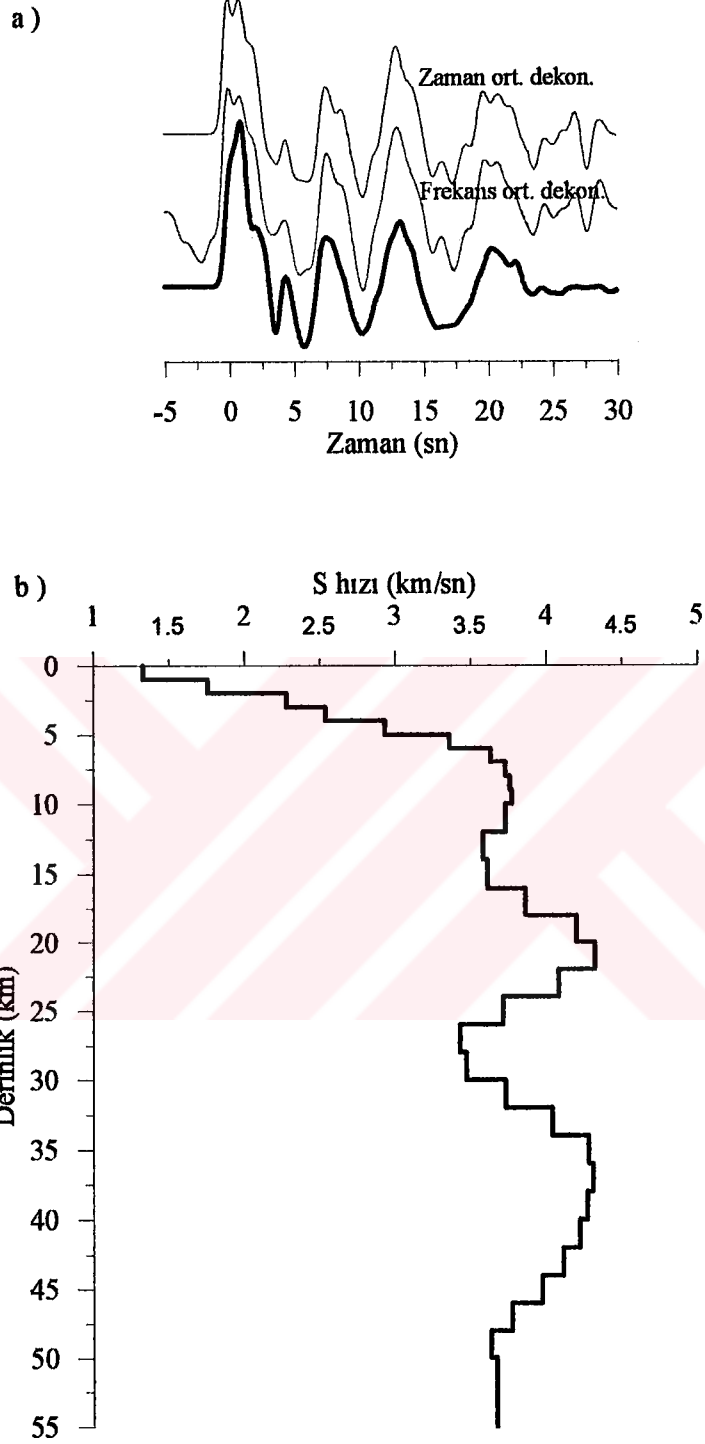
Şekil 10. Grup 2 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortami yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası ve başlangıç hız modellerinin derinlikle değişimi



Şekil 11. Grup 3 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortami yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi



Şekil 12. Grup 4 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortami yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi



Şekil 13. Grup 5 için yapılan ters çözüm sonucu. a) Zaman ve frekans ortami yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı (koyu siyah sinyal), b) S dalgası hız modelinin derinlikle değişimi

tekrarda kendini yenileyerek gözlemlenen veriye en yakın olan modeli vermiştir. Şekil 10, 11, 12 ve 13 deprem grupları 2, 3, 4 ve 5 için ters çözüm sonuçlarını yansıtmaktadır. Ayrıca bu şekillerde deprem gruplarının gözlemsel zaman ve frekans ortamı yığma radyal alıcı fonksiyon bileşenleri ve ters çözüm sonucunda elde edilen S dalgası hız modelinin sentetik sismogramı gösterilmiştir.

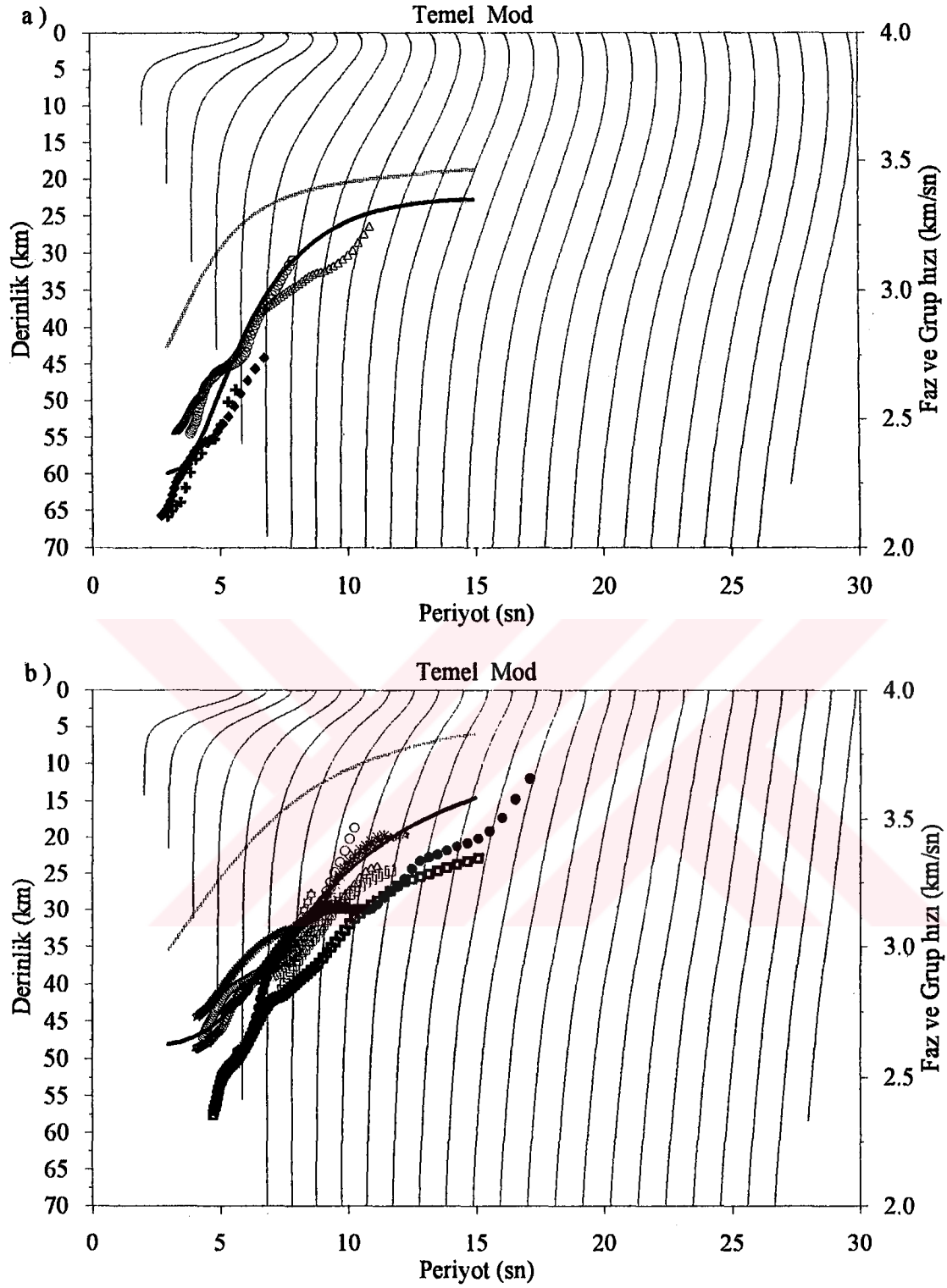
Şekil 10' daki S dalgası hız modelinin elde edilmesi için ters çözüm sırasında $\sigma=0.001$ ve $u=0.0625$ sn/km parametreleri kullanılmıştır. Hem radyal alıcı fonksiyon bileşeninde hemde sentetik sismogramda $t=0$ sn direkt gelen P dalgasını göstermektedir. Modelin ilk 5 kilometresinde hızın derinlikle ani bir artışı söz konusudur. Bu durum alıcı fonksiyonunda Ps dönüşüm fazlarına neden olmaktadır ve direkt gelen P dalgasından sonra 2.0 sn sürmektedir. 5 ile 10 km civarında S dalga hızındaki 3.5 km/sn' den 4 km/sn' ye yükseliş 2.5 sn' deki Ps dönüşüm fazına neden olmaktadır. Yaklaşık 28 km derinliğe kadar hızda önemli bir değişim görülmemektedir. 28 km ile 43 km derinlikleri arasında gözlenen düşük hız bölgesi 3.5 sn' deki ters polariteli Ps dönüşüm fazına neden olmaktadır. 43 - 50 km arasında gözlenen hız artışı 5 sn' deki dönüşüm fazıdır. Alıcı fonksiyon, yatay bileşen yerdeğiştirmelerin düşey bileşen yerdeğiştirmeye oranı olduğu için yatay bileşende SV dalgasının enerjisi daha büyük ve P dalgasının enerjisi daha düşüktür. Ps dönüşüm fazları yatay bileşende daha enerjik olurlar ve radyal alıcı fonksiyonunda kendilerini daha belirgin gösterirler. Her bir hız süreksizliğine tekabül eden Ps dönüşümleri alıcı fonksiyonunda birer enerji dalgalanması olarak görünürler. Bunun yanısıra tabakalar arası tekrarlı yansımalar mevcuttur, fakat bunların enerjisi ikincil derecede önemlidir. Ters çözüm esnasında bütün birincil ve ikincil enerji gelişleri gözönüne alınmaktadır.

Şekil 11' deki S dalgası hız modelinin elde edilmesi için ters çözüm işleminde $\sigma=0.002$ ve $u=0.0320$ sn/km parametreleri kullanılmıştır. Belirlenen modelin sentetik sismogramındaki dalga fazları frekans ve zaman ortamı radyal alıcı fonksiyon bileşenlerine göre daha sakin görünmektedir. Modelin ilk 5 kilometresinde 1.5 km/sn' den 3.6 km/sn' ye hızın derinlikle hızlı bir artışı vardır. Bu hız gradyentinin etkisi direkt P dalgasından sonra yaklaşık ilk 1.8 sn içinde görülmektedir. S dalgası hız modelinde, 15 km' den sonra hız derinlikle birlikte 4.3 km/sn seviyelerine çıkıp 23 - 30 km arasında yaklaşık 4.1 km/sn' ye düşmektedir. Bu düşük hız bölgesi sentetik sismogram üzerinde direkt P dalgasından 3 sn sonradır. 30 km derinlikten sonra model grup 2' ye benzer bir özellik göstermektedir. Sentetik sismogram üzerinde 5 sn' den sonra görünen yüksek genlikli kısımlar Ps dönüşümünden ve düşük hızdan kaynaklanan olası tekrarlı yansılardır.

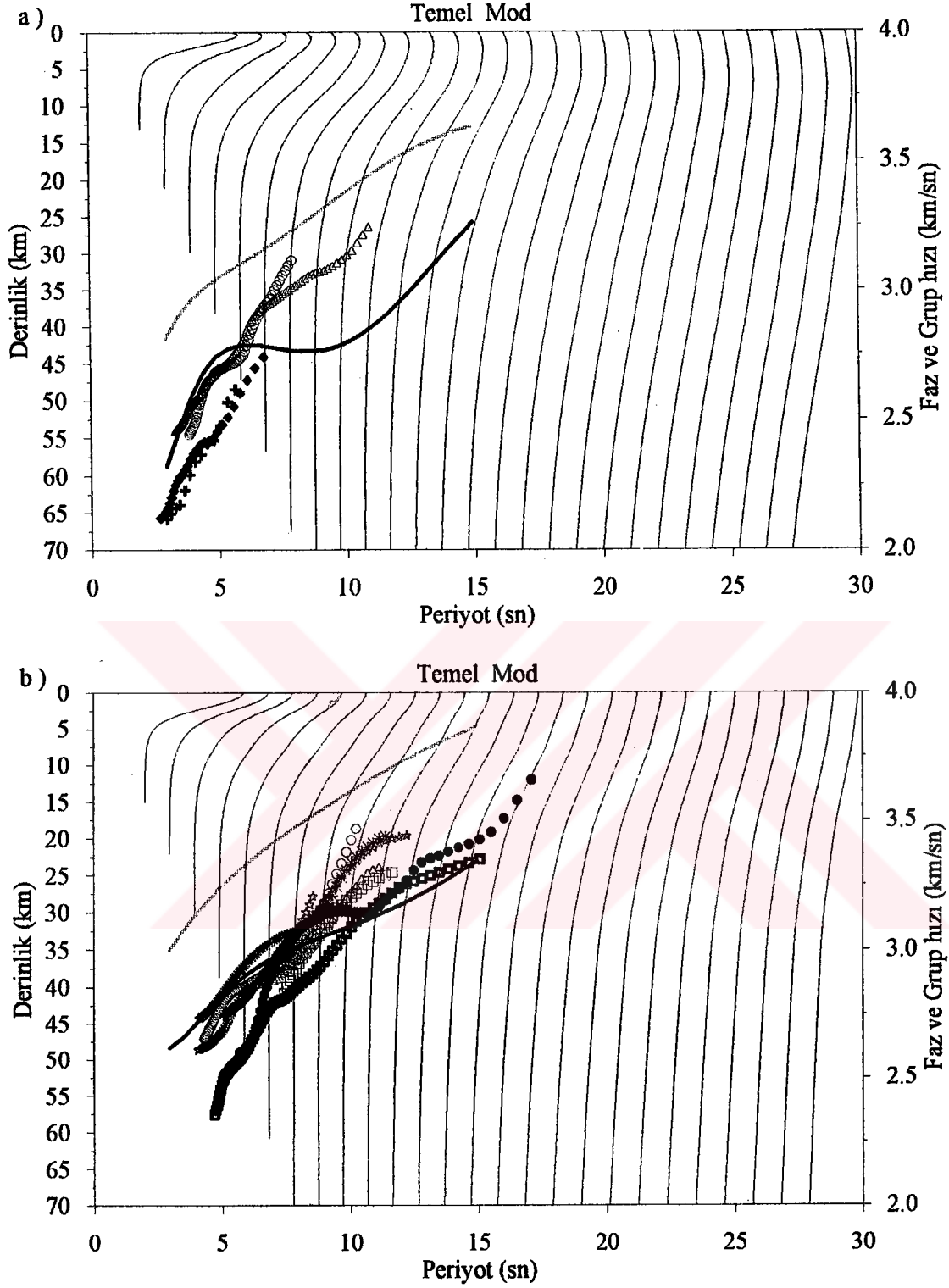
Şekil 12' deki S dalgası hız modelini elde edebilmek için ters çözüm sırasında $\sigma=0.001$ ve $u=0.0550$ sn/km değerleri kullanılmıştır. İlk 5 km' ye kadar hızda 1.95' den 3.5 km/sn' ye belirgin bir artış söz konusudur. Bu hız artışının neden olduğu Ps dönüşüm fazları direkt P dalgasından sonra 1.5 sn içerisinde görülmektedir. Modelin sentetik sismogramının dalga şekili frekans ve zaman ortamı radyal alıcı fonksiyon bileşenleriyle gayet iyi uyumluluk göstermektedir. Modelde 5 ile 23 km derinlikleri arasında bariz bir hız artışı vardır. Yaklaşık 23 km derinlikden sonra hızlar düşmektedir ve 30 - 36 km arasında hızın 3.6 km/sn olduğu düşük hızlı bölge belirlenmiştir. Bu düşük hız bölgesi sentetik sismogram üzerinde yaklaşık 3.5 sn' de görülmektedir. Sentetik sismogram üzerinde düşük hızdan sonra belirgin olarak görünen seviyeler ise önceki fazların sebep olduğu tekrarlı yansımalarıdır.

Şekil 13' deki modelin saptanması esnasında ise $\sigma=0.002$ ve $u=0.0850$ sn/km değerleri kullanılmıştır. Deprem grubu 5 yakın uzaklıktan gelen depremleri içerdiği için sismogramların genlik seviyeleri yüksektir. İlk 5 km' ye kadar hızlar 1.3 km/sn' den 3.7 km/sn' ye çıkmıştır. Bu hız gradientinin alıcı fonksiyonlarda sebep olduğu Ps dönüşüm fazları direkt P dalgasından sonra ilk 2 sn içerisinde görülmektedir. Modelde hızın 20 - 35 km derinlikleri arasında 4.5 km/sn' den 3.4 km/sn'ye düştüğü düşük hızlı bir bölge açıkça görülmektedir. Bu düşük hızlı bölge sentetik sismogramda 3.5 sn' de görülmektedir. Diğer deprem gruplarında olduğu gibi bu grupta güçlü tekrarlı yansımaların varlığı söz konusudur.

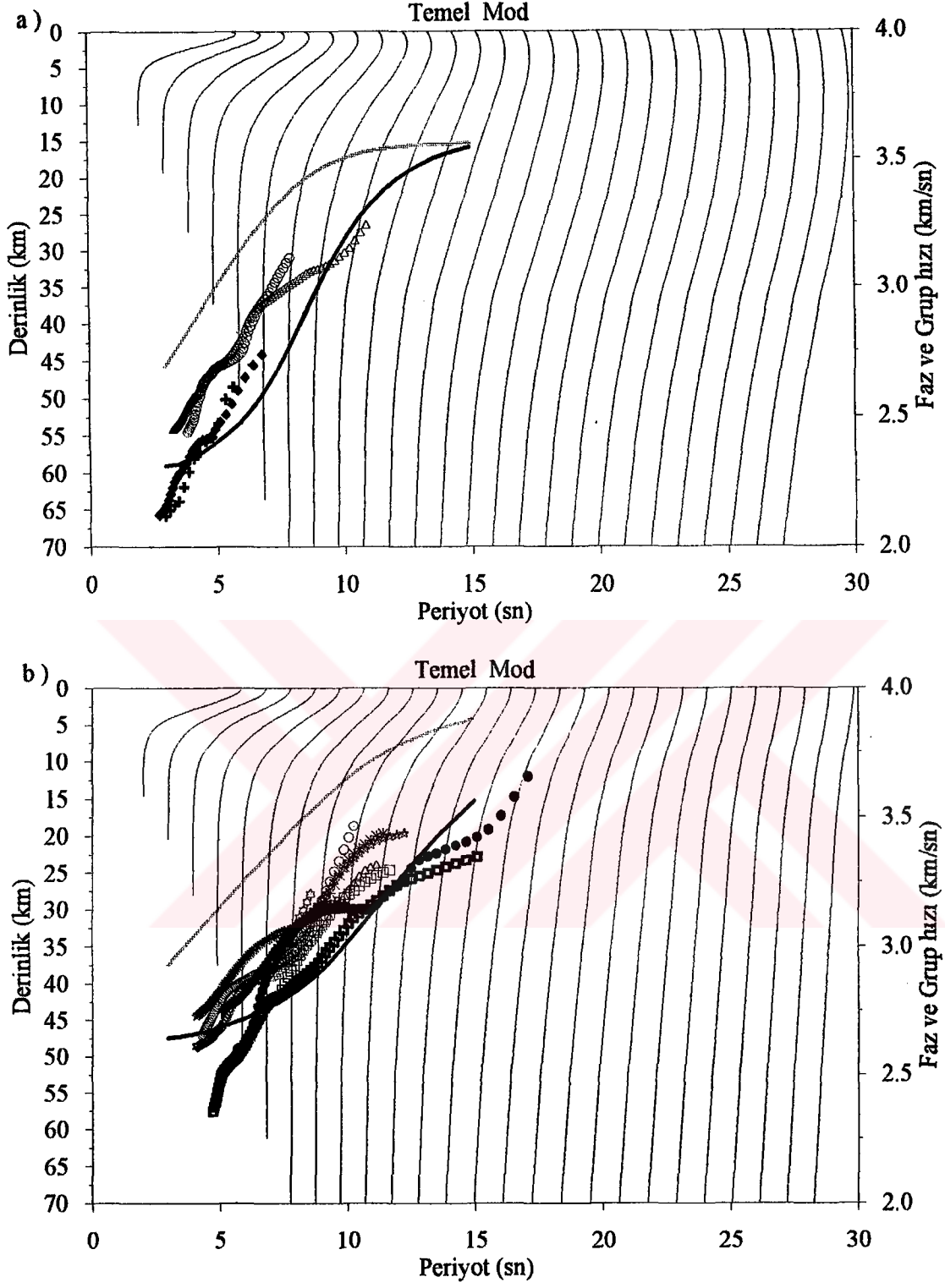
Farklı dalga boylu yüzey dalgaları farklı hızlarda yayıldıklarından dispersiyon gösterirler. Yüzey dalgalarının dispersiyon özellikleri oluştukları ortamın tabakalı yapısına ve elastik parametrelerine bağlıdır. Çeşitli yapı modelleri için hesaplanan teorik dispersiyon eğrileriyle gözlemsel dispersiyon eğrileri karşılaştırılarak uygun yer kabuğu modelleri elde edilebilmektedir. Bu şekilde yapılan işlemle ters çözüm sonucunda elde edilen S dalgası hız yapısının ne kadar uyumlu olduğuna bakılabilir. Bu nedenle, alıcı fonksiyon ters çözüm sonucunda bulunan yapı modellerinden hesaplanan Rayleigh ve Love yüzey dalgası grup hızı eğrileri ile TBZ sismik istasyonu yakınlarında oluşmuş depremlerden elde edilen gözlemsel grup hızı eğrileri arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Şekil 14, 15, 16 ve 17' de herbir deprem grubu için teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre değişimi, faz ve grup hızlarının periyoda göre değişimi ile birlikte gösterilmiştir. Bu gösterimler sırasında gözlemsel 4 tane Rayleigh dalgası grup hızı eğrisinden ve 9 tane Love dalgası grup hızı eğrisinden yararlanılmıştır.



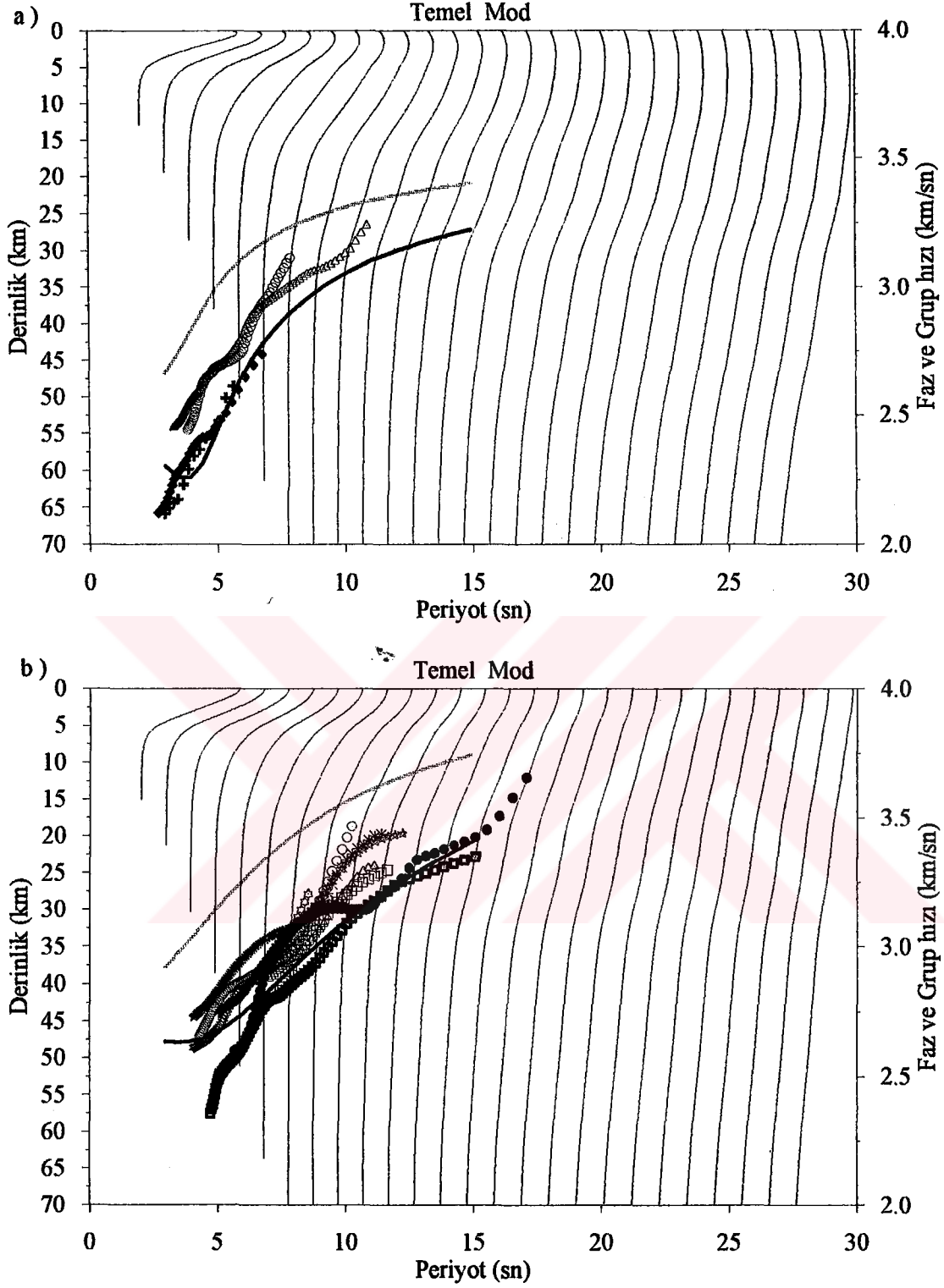
Şekil 14. Grup 2 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri



Şekil 15. Grup 3 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri



Şekil 16. Grup 4 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri



Şekil 17. Grup 5 için hesaplanan teorik yüzey dalgası temel mod enerjisinin derinliğe göre, faz ve grup hızlarının ise periyoda göre değişimi. a) Teorik Rayleigh dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri, b) teorik Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri ile gözlemsel Love dalgası grup hızı eğrileri

Şekil 14a ve b' deki teorik Rayleigh ve Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri deprem grubu 2 için alıcı fonksiyon ters çözümüyle bulunan yapı modeli için elde edilmiştir. Şekil 14a' da teorik Rayleigh dalgası grup hızı eğrisi 3 - 12 sn periyotları arasında değişim göstermektedir. Yüzeye yakın kısımlarda bir grup ve orta kısımlarda ise diğer grup gözlemsel grup hızı eğrileriyle uyum göstermektedir. Yüzey dalgası temel modu yaklaşık ilk 8 km derinliğe kadar etkili değildir ve yaklaşık 45 km nüfuz derinliğine kadar ortamı örneklemektedir. Periyot arttıkça grup hızı artmaktadır. Minimum grup hızı 2.1 km/sn ve maksimum grup hızı ise 3.3 km/sn civarındadır. Şekil 14b' de teorik Love dalgası grup hızı eğrisi, 2.5 - 11.5 sn periyotları arasında artan bir değişim gösterirken gözlemlenen grup hızı eğrilerinin bir kısmı ile oldukça uyumlu hareket etmektedir. Yüzey dalgası temel modu ilk 8 km derinliklerinde etkili olmazken yaklaşık 40 km nüfuz derinliğine kadar ulaşabilmektedir.

Şekil 15a ve b' deki teorik Rayleigh ve Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri, deprem grubu 3 için ters çözüm sonucunda bulunan S dalgası hız yapısından elde edilmiştir. Şekil 15a' da teorik Rayleigh dalgası grup hızı eğrisi, 3 - 11 sn periyotları arasında değişim gösterirken gözlemsel grup hızı eğrilerinin bir grubu ile yüzeye yakın kısımda iyi uyum göstermektedir. Yüzey dalgası temel modunun 0 - 10 km derinliği arasında etkili olmadığı ve yaklaşık 42 km nüfuz derinliğine kadar ortamı ölçebildiği görülmektedir. Şekil 15b' de ise teorik Love dalgası grup hızı eğrisi, 3.5 - 11 sn periyotları arasında artan bir değişim gösterirken gözlemlenen grup hızı eğrilerinin çoğu ile oldukça uyumlu görünmektedir. Yüzey dalgası temel modu 0 - 8 km arasında etkili değildir ve yaklaşık 30 km nüfuz derinliğine kadar ortamı ölçebilmektedir.

Şekil 16a ve b' deki teorik Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrileri deprem grubu 4 için ters çözüm sonucunda bulunan yapı modelinden elde edilmiştir. Şekil 16a' da teorik Rayleigh dalgası grup hızı eğrisi, 2.5 - 11 sn periyotları arasında değişim gösterirken gözlemsel grup hızı eğrilerinden sadece yüzeye çok yakın kısımda uyum göstermektedir. Yüzey dalgası temel modu 0 - 8 km derinliği arasında etkili değilken yaklaşık 45 km nüfuz derinliğine kadar ulaşmaktadır. Şekil 16b' de teorik Love dalgası grup hızı eğrisi, 3 - 11 sn periyotları arasında artan bir değişim göstermektedir. Teorik Love dalgası grup hızı eğrisi Rayleigh dalgası grup hızının aksine bir kısım gözlemsel grup hızı eğrileri ile iyi uyum göstermektedir. Yüzey dalgası temel modu 0 - 8 km derinliği arasında etkili olmazken yaklaşık 40 km nüfuz derinliğine kadar inmektedir.

Şekil 17a ve b' deki teorik Rayleigh ve Love dalgası faz ve grup hızı eğrileri deprem grubu 5 için alıcı fonksiyon ters çözümü ile bulunan yapıdan elde edilmiştir. Şekil 17a' da

teorik Rayleigh dalgası grup hızı eğrisi, 2.5 - 11.5 sn arasında artan bir değişim gösterirken gözlemsel grup hızı eğrilerinin bir grubu ile yüzeye yakın kısımda oldukça uyum görünmektedir. Yüzey dalgası temel modu 0 - 8 km derinliği arasında etkili değilken yaklaşık 45 km nüfuz derinliğine kadar ortamı ölçebilmektedir. Şekil 17b' de ise teorik Love dalgası grup hızı eğrisi 3 - 12 sn periyotları arasında artan bir değişim göstermektedir. Teorik Love dalgası grup hızı eğrisi bu periyotlar arasında gözlemsel grup hızı eğrileri ile çok uyumlu hareket etmektedir. Yüzey dalgası temel modu diğerlerinde olduğu gibi 0 - 8 km arasında etkili değilken yaklaşık 35 km nüfuz derinliğine kadar ulaşmaktadır.

Sonuç olarak, teorik grup hızı eğrilerinin bazen gözlemsel Rayleigh dalgası grup hızı eğrisine bazen de Love dalgası grup hızı eğrisine uyum gösterebileceği görülmüştür. Grup hızı eğrileri yüzey dalgası temel modu ve periyodu ile birlikte kendini gösteren sismik dalga fazlarının varış zamanlarına göre sentetik sismogram üzerinde konumunu gösterir. Faz hızı eğrileri ise herhangi bir periyot ve moddaki sismik enerjinin içinde seyahat ettiği ortamın hızına ve geliş açısına açısına bağlı olarak sismik dalga cephesinin arayüzey etkileşimleri ve etkileşim sonrası davranışları hakkında bilgi verir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Telesismik dalga şekili modellemesi veya alıcı fonksiyon analizi kabuk ve üst Manto yapısının açıklanmasına yönelik bir yöntemdir. Alıcı fonksiyon modeli, sayısal üç bileşen geniş-bandlı istasyonlar altındaki bir boyutlu S dalgası hız yapılarını gösterir (Langston, 1979; Owens vd., 1984; Cassidy, 1992; Ammon ve Zandt, 1993; Özalaybey vd., 1997). Bu nedenle TBZ sismik istasyonunda 1996 - 1998 yılları arasında kaydedilen episantır uzaklığı 20° den büyük 39 adet deprem verisi incelenmiştir. Alıcı fonksiyon işleminde orjinal yatay sismogramlar radyal ve tanjansiyel bileşenlere çevrilmiş ve yatay bileşenlerden düşey bileşen dekonvolüsyon edilerek kaynak etkileri giderilmiştir. Dekonvolüsyon edilen sismogramlar uygun yatay sismogramları elde etmek için Gauss fonksiyonu ile konvole edilmiştir. Gauss fonksiyonunun genişliği alıcı fonksiyonlardaki yüksek frekanslı etkiyi gidermek için ayarlanabilir. Ayrıca, alıcı fonksiyon yöntemindeki spektral oran sahte spektral çukurlardan etkileneceği için su - seviyesi (c) parametresi düşey bileşeni kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada TBZ sismik istasyonu hız kayıtlarından yararlandığı için bunlara en uygun olarak $\alpha=2$ ve $\bar{c}=0.001$ değerleri seçilmiştir. Elde edilen alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşen genlikleri ışın izleme doğrultusuna, arayüzeyin eğimine ve dekonvolüsyon tekniğinin sebep olacağı gürültülere çok duyarlıdır. Gürültülü bir alıcı fonksiyon S dalgası hız yapılarının elde edilmesinde tabakalar arası yüksek hız kontrastlarına neden olur. Bu nedenle alıcı fonksiyonlar gürültünün etkisini gidermek için yığılmalıdır. Her deprem grubu için yığma sonunda elde edilen radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyonlar daha güvenilir sonuçların elde edilmesi için tercih edilir.

39 adet deprem verisinin geri-azimut ve episantır uzaklığı dağılımlarına bakılarak alıcı fonksiyon yöntemi ile analiz edilebilecek 5 tane deprem grubu belirlenmiştir. Alıcı fonksiyon modellemesinde istasyon altındaki yapıyı yatay ve homojen olarak kabul edersek aynı kadrandan deprem gruplarının incelenmesi yeterli olacaktır. Fakat yapının az da olsa eğimli olduğu kabullenilirse, farklı azimutlardan gelen deprem gruplarının incelenmesi gerekmektedir. Çünkü depremler farklı azimut ve episantır uzaklığından geldikleri zaman değişik yörüngeler izleyerek istasyona ulaşırlar. Episantır uzaklığı büyük olan deprem grubu küçük olan deprem grubuna göre istasyona daha yakın bir alanı analiz etme imkanı sağlar. 5 tane deprem grubu için hesaplanan alıcı fonksiyon bileşenlerinin gözlemsel olarak her bir deprem kadrana ve episantır uzaklığına göre nasıl değişiklikler gösterdiği incelenmiştir.

Aynı deprem grubundan olan olaylar için radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin birbirine uyumlu olduğu görülmüştür. Alıcı fonksiyon bileşenleri üzerindeki dalga fazlarının uyumlulukları yaklaşık 20 sn' ye kadar izlenebilmektedir. Tanjansiyel bileşenler yanal heterojeniteye çok duyarlı olduğu için istasyon altındaki yapıda eğimli arayüzeyin ve anizotropinin varlığından doğacak etkileri yansıtabilir. Bu nedenle, zıt kadranslardan olan deprem gruplarındaki alıcı fonksiyon bileşenleri dalga şekillerinin polaritelerine bakılarak gözlemsel olarak yapının yatay veya eğimli olup olmadığı yorumlanabilir. Bu tür bir yorumlama aşamasında tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenin polaritesinin yönelimi ve genliğinin durumu çok önemlidir. Ayrıca tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde Ps dönüşüm fazının polaritesine ve genliğine bakarak arayüzeyin yaklaşık eğim yönü ve büyüklüğü hakkında bilgi edinilebilir. Uzak alan deprem kayıtları hemen hemen dik geldikleri için düşük geliş açısına sahiptir. Bu nedenle düşey bileşende P genliği büyük olmasına rağmen radyal alıcı fonksiyon bileşeninde küçük seviyeli olarak kendini gösterecektir. Episantr uzaklığı yakın olan depremler için hesaplanan alıcı fonksiyon bileşenleri ise kendilerini oldukça yüksek genlikli olarak göstermişlerdir. Zıt kadranslardaki grup 2 ve 3' de yığılan radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin grup 4 ve 5' dekilerle kıyaslanması yorumlama için önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. En önemlisi her iki kadransdaki deprem gruplarının tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin birbirine göre ters polariteli oldukları görülmüştür. Ayrıca diğer gruplara nazaran grup 4 ve 5' deki tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenin polaritesi radyal bileşene göre zaman olarak gecikmiş anizotropik bir durum göstermektedir. TBZ sismik istasyonu kıtasal - okyanusal plaka geçiş sınırında olduğu için bir kabuk kalınlaşması durumu söz konusudur. Bu nedenle, TBZ sismik istasyonunun doğusunda ve batısındaki yığılmış tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinin ters yönlü polariteler göstermesi kalınlaşma sonucunda oluşan eğimli bir yapının varlığını açıkça ortaya koymaktadır.

Bu şekilde yapılan yoruma dayalı gözlemsel alıcı fonksiyon analizi, istasyon altındaki yapının az çok nasıl olduğu hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Saptanan bilgiye göre alıcı fonksiyonun ileri modelleme tekniği ile modellenmesi oldukça zordur. Bu nedenle alıcı fonksiyona frekans ortamı ters çözüm yöntemi uygulanmış ve verilen başlangıç modele göre yapı başarıyla modellenmiştir. Radyal alıcı fonksiyon bileşenleri S dalgası hız yapısına daha duyarlı olduğu için S dalga hızları ters çevrilmiş ve P dalga hızları 0.25 Poisson oranı ile kontrol edilmiştir. 4 tane deprem grubu için ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen S

dalgası hız yapısı sentetik sismogramlarının, zaman ve frekans ortamında yığılan radyal alıcı fonksiyon bileşenleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca ters çözüm sırasında kullanılan pürüzsüzlük değerinin seçimine her zaman dikkat etmek gerekmektedir. Çünkü ters çözüm işleminde hem ayrımlılığın korunmasına hem de detaydan kaçınılmamasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle alıcı fonksiyon ters çözümü süresince 0.0005 - 0.002 arasında pürüzsüzlük değerlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Sentetik sismogramlardaki dalga şekilleri yaklaşık 20 sn' ye kadar zaman ve frekans ortamı alıcı fonksiyon bileşenleriyle uyumlu görünmektedir. Radyal alıcı fonksiyon bileşeninde Ps dönüşüm dalga fazı, yakından gelen grup 2' de belirgin olarak görünmesine rağmen uzakdan gelen grup 4' de P dalgasının içine girmiş olarak görünmektedir. Tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde ise Ps dönüşüm dalgası, diğer deprem gruplarına göre grup 4 ve 5' de büyük genlikli ve direkt gelen P dalgasının polaritesiyle benzer yönlü olarak görünmektedir. Bu deprem grupları için tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde Ps dönüşüm dalga fazları anizotropinin etkisiyle zaman olarak gecikmişlerdir. Sonuç olarak, radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerindeki dalga fazlarının geri-azimut ve episantr uzaklığına bağlı olarak değişim gösterdiği açıktır. 4 tane deprem grubu için ters çözüm sonunda bulunan modeller incelendiğinde hepsi yaklaşık ilk 5 km derinliğe kadar ani bir hız gradyenti göstermektedir. Bu hız gradyentinin varlığı alıcı fonksiyonunda Ps dönüşüm fazına neden olur ve direkt gelen P' den sonra kendini göstermektedir. Elde edilen yapı modelleri incelendiğinde düşük hızlı tabakanın varlığı bariz bir şekilde görünmektedir. Bu düşük hızlı tabakanın derinliği her deprem grubu için değişik değerler arasındadır. Bütün deprem grupları için 45 km derinlikten sonra S dalga hızının ortalama 3.7 km/sn' ye düştüğü ve bu hızla devam ettiği görülmektedir. Sismogramlar üzerinde düşük hızlı kısımdan sonra belirli sürelerde kendini gösteren dalga şekillerinin bulunması bunların tekrarlı yansımalar olarak yorumlanması imkanı doğurur.

Ters çözüm sonunda elde edilen S dalgası hız yapısı sonuçlarını kuvvetlendirmek için grup hızı eğrilerinin incelenmesine gerek duyulmuştur. Bu nedenle, TBZ sismik istasyonu yakınlarında olmuş depremlerin Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrileri elde edilen modelin teorik grup hızı eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yüzey dalgası temel modunun herhangi bir grup hızı ve periyotta ne kadar derinliğe kadar nüfuz ettiği gösterilmiştir. Bazı deprem grupları için teorik Rayleigh dalgası grup hızı eğrileri gözlemlenen grup hızı eğrileriyle tam uyumluluk göstermese de Love dalgası grup hızı eğrilerinin gözlemlerle

uyumlu olduğu görülmüştür. Bütün deprem grupları için yüzey dalgası temel modunun yaklaşık 0 - 8 km derinlik arasında etkin olmadığı belirlenmiştir. Genellikle bütün deprem grupları için çizilen Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrileri periyotla artan bir değişim göstermektedir. Teorik Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrileri gözlemlenen grup hızı eğrileri ile yüzeye yakın kısımda iyi bir uyum göstermektedir. Ancak bu durumun derin kısımlar için tam olarak söz konusu olmadığı görülmektedir. İncelenen bütün deprem grupları için yüzey dalgası temel modunun yaklaşık 45 km nüfuz derinliğine kadar 3.3 km/sn grup hızı ile ortamı ölçebildiği tespit edilmiştir. Bu nüfuz derinliği bizim yaptığımız çalışma için yeterlidir.

4 tane deprem grubu için gerek teorik gerekse gözlemsel grup hızı eğrilerinin birbiriyle iyi bir uyumluluk göstermesi alıcı fonksiyon hesabında çok çözümlülük probleminden mümkün olduğunca kaçınılmış olduğunun bir sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle elde edilen bir boyutlu S dalgası hız yapıları, TBZ sismik istasyonu altındaki yapıyı yaklaşık doğrulukla yansıtmaktadır. Deprem veri sayısının daha çok olmasıyla bu durumun daha ayrıntılı olarak test edilebilmesi mümkündür.

4. SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasında, alıcı fonksiyon yöntemi ile telesismik deprem kayıtları modellenerek TBZ sismik istasyonunun altındaki bir boyutlu S dalgası hız yapısı belirlenmiştir. Alıcı fonksiyon analizinin en büyük avantajı bulunan sonuçların gözlemlenenlerle doğrudan karşılaştırılabilme imkanını sağlamasıdır. Fakat yöntemin dezavantajı ise Jeofiziğin pek çok probleminde olduğu gibi çözümün tekil olmayışdır. Bu nedenle bulunan sonuçların sadece alıcı fonksiyon modellemesiyle değil farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlarla birleştirilmesi gerekmektedir.

Veri olarak TBZ sismik istasyonunda kaydedilen episantr uzaklığı 20° den büyük olan 39 adet deprem kayıtları kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları seçilirken sinyal/gürültü oranının yüksek ve kaliteli olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen bu verilere kaynak eşitlik yöntemi uygulanarak radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon hesabı yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında istasyon altındaki yapının yatay ve homojen kabul edilmesinin yanısıra az çok eğimli ve yanal olarak heterojen olduğu düşünülmüştür. Manto' dan gelen P dalgasının istasyon altındaki yapıyı iyi yansıtabilmesi için deprem verilerinin azimutal olarak iyi bir dağılım göstermesi gerekir. Bu nedenle seçilen deprem verilerinin azimutal dağılımlarına mümkün olduğunca dikkat edilmiştir. Alıcı fonksiyon hesabı sırasında ayrımlılığın ve mutlak genliklerin korunmasına önem verilmiştir. Mutlak genlikler eğimli tabakaların varlığından kaynaklanacak hatalardan kaçınmaya yardımcı olduğu için kullanılmıştır. Bu nedenle hesaplamalar sırasında yararlanılan Gauss fonksiyonu ve su - seviyesi parametre değerlerinin seçimine dikkat edilmiştir. Seçilen 39 adet deprem verisinin geri-azimut ve episantr uzaklığına göre dağılımlarına bakılırsa kuzey ve güney sınırının temsil edilmediği görülür. Bazı depremlerin ise geri-azimut ve episantr uzaklıklarının birbirine yakın olduğu görülür. Bu nedenle seçilen depremler 5 gruba ayrılarak incelenmiştir (grup 1, 2, 3, 4 ve 5). Farklı geri-azimuttan gelen telesismik dalgalar alıcı altındaki yanal hız değişimlerini belirlemek için kullanılabilir. Radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde dalga fazlarının polaritelerinin yönelimlerine bakılarak istasyon altındaki yapı hakkında gözlemsel olarak bir yorum yapılabilir. Alıcı fonksiyonun tanjansiyel bileşeninde azimut dışı Ps dönüşüm dalga fazlarının görülmesi istasyon altında kabuksal heterojenitenin varlığını gösterir. Çünkü normalde Ps dönüşüm fazı radyal olarak polarize olacağı için tanjansiyel enerjinin varlığı homojen olmayan yapının varlığını gösterir. Ayrıca alıcı fonksiyon analiz yöntemi ile eğimli

arayüzeylerin belirlenmesinin yanısıra anizotropinin varlığında incelenebilmiştir. Direkt gelen P ve Moho' dan gelen Ps dönüşüm fazlarının genliği ve seyahat zamanı arayüzeyin eğim yönüne ve büyüklüğüne bağlı olarak değişim gösterir. Deprem grubu 1, 2 ve 3' de direkt gelen P dalgasının polaritesi radyal alıcı fonksiyon bileşeninde pozitif yönü gösterirken tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde negatif yönü göstermektedir. Ps dönüşüm fazı ise radyal alıcı fonksiyon bileşeninde pozitif yönü gösterirken tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşeninde negatif yönü göstermektedir. Grup 4 ve 5' deki direkt gelen P ve Ps dönüşüm dalga fazı polariteleri radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde pozitif yönlüdür. Yani grup 4 ve 5' deki dalga polaritelerinin zıt kadrındaki grup 1, 2 ve 3' e göre ters bir durum gösterdiği ve genlik seviyeleri bakımından ise düşük olduğu görülmüştür. Bu gözlemlenen durum, TBZ sismik istasyonu altında eğimli bir yapının varlığını ortaya koyar ve kıtasal - okyanusal geçişin olduğunu gösterir. Ayrıca, grup 4 ve 5 için tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerinde direkt gelen P ve Ps dönüşüm dalga fazlarının yerleri radyal alıcı fonksiyon bileşenlerine göre zaman olarak geciktiği ve yapıda anizotropik bir durumun varlığı saptanmıştır. Sonuç olarak radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenlerindeki, direkt gelen P ve Ps dönüşüm dalga fazlarının geri-azimutun ve episantr uzaklığının fonksiyonu olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Böylece alıcı fonksiyon analizi ile TBZ sismik istasyonu altındaki yapının eğimli olduğu ve eğimin hangi yönde olduğu belirlenebilmiştir.

Her deprem grubu içinde gürültünün etkisini gidermek için alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenlerinin yığılması sinyal bakımından güçlü verilerin kullanılması imkanı sağlar. Yığılan radyal ve tanjansiyel alıcı fonksiyon bileşenleri incelenen deprem grubu için daha sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlar. Çünkü S dalgası hız modeli yığılan alıcı fonksiyon bileşenlerinin genliklerine duyarlı olduğu için istenmeyen çeşitli hız atlamalarına neden olabilir. Hesaplanan radyal alıcı fonksiyon bileşeni oldukça detaya sahip olduğu için ileri modelleme tekniği ile modellenmesi oldukça zordur. Bu durumda alıcı fonksiyonların ters çözüm yöntemiyle modellenmesi gereği ortaya çıkmıştır. Eğer alıcı fonksiyon hesabı zaman ortamında yapıldıysa zaman ortamı ters çözüm yöntemi, frekans ortamında yapıldıysa frekans ortamı ters çözüm yöntemi kullanılması gereklidir. Bu çalışmada zaman ve frekans ortamında alıcı fonksiyon bileşenleri hesabı yapılmasına rağmen frekans ortamı ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Alıcı fonksiyon ters çözümünün gerçek yer yapısını yansıtabilmesi için başlangıç olarak verilecek modelin seçimi çok önemlidir. Yöntemin hassasiyeti için

verilen başlangıç modelin gerçek yer yapısına yakın bir model olmasına dikkat edilmelidir. Ters çözüm sonunda elde edilen S dalgası hız yapısı sentetik sismogramlarının gözlemsel radyal alıcı fonksiyon bileşenleriyle oldukça uyumlu bir sonuç verdiği görülmüştür. Bulunan S dalgası hız modellerinin her ne kadar TBZ istasyonunun altındaki kabuk yapısını temsil ettiği düşünülse de elde edilen sonuçların tekil olmadığı şüphesiyle karşı karşıya kalınmıştır. Bu nedenle, TBZ sismik istasyonunda kaydedilen yakın depremlerin gözlemsel Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrileriyle her bir deprem grubunu temsil eden S dalgası hız modellerinden hesaplanan teorik grup hızı eğrilerinin karşılaştırılmasına gerek duyulmuştur. Yapılan inceleme sonucunda, gözlemsel Rayleigh ve Love dalgası grup hızı eğrilerinin teorik grup hızı eğrileri ile yüzeye yakın kısımlarda oldukça iyi uyumlu olduğu görülmüştür. 4 tane deprem grubu için bulunan yapı modellerinde ilk 5 km derinlikte hız gradyetinden dolayı Ps dönüşüm fazlarının varlığı ve derin kısımlara doğru bir düşük hızlı bölgenin bulunduğu belirlenmiştir. Hesaplanan sentetik sismogramlar üzerinde direkt gelen P dalgasının, Ps dönüşüm fazlarının, düşük hızlı bölgenin ve tekrarlı yansımaların yerleri yaklaşık olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, alıcı fonksiyon ters çözüm yöntemiyle mümkün olduğunca çok çözümlülük probleminden kaçınarak elde edilen S dalgası hız yapılarının TBZ sismik istasyonu altındaki kabuk yapısını temsil ettiği söylenebilir. Bu nedenle, elde edilen S dalgası hız yapılarının Doğu Karadeniz bölgesinin tektonizması için yapılan çalışmalara yapının elastik özelliklerini sunarak yardımcı olabileceği umulmaktadır.

5. ÖNERİLER

Alıcı fonksiyon tekniği son yıllarda sayısal geniş-bandlı üç bileşen deprem verilerinin artmasıyla birlikte sismik istasyonlar altındaki S dalgası hız yapısını tahmin etmek için sismologlar tarafından başarıyla kullanılmıştır. Yöntemin esası basit olarak görünmesine rağmen çok çözümlülük problemiyle karşı karşıya bulunmaktadır. Alıcı fonksiyon analizinde çok çözümlülükten tekil çözüme gidildiği zaman kabuk ve üst Manto yapısı ile ilgili oldukça iyi sonuçların elde edilmesi imkanı sağlar.

Yöntemin uygulanışı esnasında en çok kullanılacak verilerin seçimine özen gösterilmelidir. Kullanılacak depremlerin kaliteli, sinyal içeriğinin fazla olması ve sayı bakımından sınırlı olmaması gerekmektedir. En önemlisi altdaki yapı ile ilgili bir çok özelliği ortaya koyabilmek için depremlerin iyi bir azimutal dağılım göstermesi gerekmektedir. Alıcı fonksiyon radyal ve tanjansiyel bileşenleri düşük kaliteli ise ters çözüm işleminde kullanılamazlar. S dalgası hız modelinin elde edilmesinde sadece alıcı fonksiyon yöntemine bağlı kalınmamalıdır ve diğer yöntemlerden bulunan sonuçlarla desteklenmesi yoluna gidilmelidir. Ayrıca yüzey dalgası faz hızı verisi ile alıcı fonksiyon ters çözüm işlemi birleştirilerek çok çözümlülük problemi incelenebilir. Çünkü temel modda yüzey dalgası faz hızları nüfuz derinliklerinde materyalin ortalama S dalgası hız yapısına duyarlıdır.

Alıcı fonksiyon analizi sadece TBZ sismik istasyonu altındaki yapının belirlenmesinde değil aynı zamanda geniş bir bölgenin incelenmesi için başarıyla kullanılabilen bir işaretini vermektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ammon, C.J., Randall, G.E., Zandt, G., 1990, On the Nonuniqueness of Receiver Function Inversions, *J. Geophys. Res.*, 95, 15303-15318.
- Ammon, C.J., 1991, The Isolation of Receiver Effects from Teleseismic P Waveforms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 2504-2510.
- Ammon, C.J., Zandt, G., 1993, Receiver Structure Beneath the Southern Mojave Block, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 737-755.
- Baker, G.E., Minster, J.B., Zandt, G., Gurrola, H., 1996, Constraints on Crustal Structure and Complex Moho Tomography Beneath Pinon Flat, California, from Teleseismic Receiver Functions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1830-1844.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taşlı, K., Akdağ, K., Özgür, S., 1995, Cretaceous Rifting of the Eastern Pontide Carbonate Platform (NE Turkey): the Formation of Carbonate Breccias and Turbidites as Evidence of a Drowned Platform, *Giornale di Geo.*, 57/1-2, 233-244.
- Bertrand, E., Deschamps, A., Lithospheric Structure Beneath the Southern French Alps Inferred by Broad - Band Analysis, *EGS, 1998, Nice*, 16, c 87.
- Brinkmann, R., 1974, Geological Relations Between Black Sea and Anatolia, *The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology*, Am., 63-76.
- Cassidy, J.F., 1992, Numerical Experiments in Broadband Receiver Function Analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 1453-1474.
- Çamur, M.Z., Güven, İ.H., Er, M., 1996, Geochemical Characteristics of the Eastern Pontide Volcanics, Turkey: Example of Multiple Volcanic Cycles in the Arc Evolution, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 123-144.
- Haskell, N.A., 1953, The Dispersion of Surface Waves on Multilayered Media, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 43, 17-34.
- Haskell, N.A., 1962, Crustal Reflection of Plane P and SV Waves, *J. Geophys. Res.*, 67, 4751-4767.

- Hebert, L., Langston, C.A., 1985, Crustal Thickness Estimate at AAE (Addis-Ababa, Ethiopia) and NAI (Nairobi, Kenya) Using Teleseismic P Wave Conversions, *Tectonophysics*, 111, 299-327.
- Kosarev, G.L., Petersen, N.V., and Vinnik, L.P., 1993, Receiver Functions for the Tien Shan Analog Broadband Network: Contrasts in the Evolution of Structures Across the Talasso-Fergana Fault, *J. Geophys. Res.*, 98, 4437-4448.
- Langston, C.A., 1979, Structure Under Mount Rainier, Washington, Inferred from Teleseismic Body Waves, *J. Geophys. Res.*, 84, 4749-4762.
- Langston, C.A., 1989, Scattering of Teleseismic Body Waves Under Pasadena, California, *J. Geophys. Res.*, 94, 1935-1951.
- Lay, T., Wallace, T.C., *Modern Global Seismology*, Academic Press. Inc., California, 1995.
- Lawson, C.L., Hanson, R.J., *Solving Least Squares Problems*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1974.
- Lin, C.H., 1995, A Review of Receiver Function Techniques for Estimation of One Dimensional Velocity Structures, *TAO*, 6, 181-195.
- Mangino, S.G., Zandt, G., Ammon, C.J., 1993, The Receiver Structure Beneath Mina, Nevada, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 542-560.
- McNamara, D.E., Owens, T.J., 1993, Azimuthal Shear Wave Velocity Anisotropy in the Basin and Range Province Using Moho Ps Converted Phases, *J. Geophys. Res.*, 98, 12003-120017.
- Mindevalli, Ö.Y., *Crust and Upper Mantle Structure of Turkey And the Indian Sub-Continent Surface Wave Studies*, Ph. D. Dissertation, Saint Louis Univ., 1988.
- Myers, S.C., Beck, S.L., Evidence for A Local Crustal Root Beneath The Santa Catalina Metamorphic Core Complex, Arizona. (Yayınlanmamış)
- Owens, T.J., Zandt, G., Taylor, S.R., 1984, Seismic Evidence for an Ancient Rift Beneath the Cumberland Plateau, Tennessee: A Detailed Analysis of Broadband Telesismic P Waveforms, *J. Geophys. Res.*, 89, 7783-7795.
- Owens, T.J., 1987, Crustal Structure of the Adirondacks Determined from Broadband Teleseismic Waveform Modeling, *J. Geophys. Res.*, 92, 6391-6401.

- Özalaybey, S., Savage, M.K., Sheehan, A.F., Louie, J.N., Brune J.N., 1997, Shear Wave Velocity Structure in the Northern Basin and Range Province from the Combined Analysis of Receiver Functions and Surface Waves, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 183-199.
- Peng, X., Humphreys, E.D., 1997, Moho Dip and Crustal Anisotropy in Northwestern Nevada from Teleseismic Receiver Functions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 745-754.
- Şen, C., Arslan, M., Van, A., Geochemical and Petrological Characteristics of the Pontide Eocene Alkaline Volcanic Province, NE Turkey, *Proceeding of Tübitak-Bayg/Nato-D Program on Alkaline Magnetism, Ekim 1997, Sivas*, 76-84.
- Yılmaz, C., Doğu Pontid Karbonat Platformunun Kırılmasına İlişkin Yeni Bulgular, *Türkiye 11. Petrol Kongresi, 1996, Ankara*, 190-198.
- Zandt, G., Owens, T.J., 1986, Comparison of Crustal Velocity Profiles Determined by Seismic Refraction and Teleseismic Methods, *Tectonophysics*, 128, 155-161.
- Zhang, J., Langston, C.A., 1995, Dipping Structure Under Dourbes, Belgium, Determined by Receiver Function Modeling and Inversion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 254-268.
- Zhu, L., Owens, T.J., Randall, G.E., 1995, Lateral Variation in Crustal Structure of the Northern Tibetan Plateau Inferred from Teleseismic Receiver Functions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1531-1540.

7. ÖZGEÇMİŞ

09.10.1972 tarihinde Kırıkkale' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kırıkkale' de tamamladı. 1991 ÖYS sınav sonucunda Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 1995 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 1996 yılında Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı ve halen bu görevini sürdürmektedir.



TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN MERKEZİ