6561

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE DALGA FAZLARININ AYRIMI

Jeof. Müh. Hüseyin GÖKALP

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"Jeofizik Yüksek Mühendisi"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Haziran 1989
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 21 Temmuz 1989

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Özer KENAR
Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Veli KARA
Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Rıfat YAZICI

Enstitü Müdürü V.: Doç.Dr. İlhan SUNGUR

Temmuz-1989

TRABZON

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışma ile bu konudaki bilgilerimizi bir adım daha geliştirmeye, konuya açıklık getirmeye ve kendimce bir katkıda bulunmaya çalıştım. Eğer benden sonra bu konuda çalışacak olan araştırmacılara ışık tutabilmişsem bu benim için büyük bir mutluluk olacak ve çalışmam gerçek amacına erişmiş olacaktır.

Bu güzel konuyu bana önerip bilgi dağarcığımı genişleten sayın hocam Doç. Dr. Özer Kenar'a yaptığı tüm yardımlardan dolayı teşekkür ederim. Gerek tecrübelerinden gerekse bilgisayar programlarından yararlandığım değerli hocam Yr. Doç. Dr. Veli Kara'ya teşekkür ederim. Diğer taraftan çalışmam sırasında yardımlarını gördüğüm başta bölüm elemanları olmak üzere emeği geçen tüm kişilere teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca benim bu seviyeye gelmeme sebep olan, bilimsel yöndeki çalışmalarımı her zaman destekleyen anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Hüseyin GÖKALP

Trabzon
Haziran 1989

İÇİNDEKİLER

ÖZET

Bu çalışmada girişime uğramış dalga fazları arasındaki gecikme zamanlarının belirlenmesi amacıyla bazı spektral teknikler incelenmiştir. Kullanılan teknikler çeşitli durumlar için oluşturulan modellerde test edilmiş ve etkinlikleri belirlenmiştir. Daha sonra gözlemsel verilerimiz olan uzak alan depremlerin düşey bileşen kayıtlarına uygulanarak pP ve PcP fazlarına ait gecikme zamanları belirlenmeye çalışılmıştır.

Model çalışmalarında telesismik bir olayı temsil eden Berlage fonksiyonu kullanılmıştır. Çeşitli gecikme zamanları için oluşturulan modeller üzerinde spektral sıfırlama (spectrall nulls), öziliski fonksiyonu, güç kepstrumu, kompleks kepstrum ve öziliski fonksiyonundan hesaplanan öziliski kepstrumu çalısmaları yapılmıştır. Modellerde ilk önce girişime uğrayan iki sinyal, daha sonra üç sinyal için analizler yapılmış, sinyaller arasında değişik faz farkları olması durumunda da uygulanan tekniklerin tepkileri incelenmiştir.

Güç kepstrumu dalgacığın varış zamanlarını ve genliklerini belirlemede etkili bir yöntemdir. Kompleks kepstrum ise esas dalgacığın ve yankılarının (echoes) şeklinin kestirilmesinde çok kıymetli bir yöntemdir. Bunun yanında kompleks kepstrum dalga fazları arasındaki mevcut faz farkı hakkında bize önemli bilgi vermektedir. Aynı şekilde bu konuda öziliski kepstrumunun da kompleks kepstrum gibi hizmet verdiği belirlenmiştir.

Uygulanan yöntemler ilk önce teorik olarak incelenmiş, daha sonra basit modeller üzerinde adım adım uygulanarak anlaşılır hale getirilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak girişim olayında genlik ve faz modülasyonlarının incelenmesi gibi çalışmaları verebiliriz. Diğer taraftan model çalışmalarında spektral analiz yöntemleri ile gecikme zamanının belirlenmesi dışında ilk yalın sinyali elde etme çalışmaları da yapılmıştır. Bu amaçla çeşitli gecikme zamanları verilerek oluşturulan modellerin kompleks kepstrumları üzerinde lineer bir filtreleme işlemi yapılıp tekrar zaman ortamına dönülmesiyle (homomorfik dekonvolüsyon) ilk yalın sinyal elde edilmiştir.

Gözlemsel verilerimiz uzak alan deprem kayıtları olup, bir depremin tek bir kaydı üzerinde analiz çalışmaları sergilenmiş ve herbirinin tekil sonucunun kombinasyonundan ortak yoruma gidilmiştir. Kepstrum yöntemi ile dalga fazlarının ayırımı ve gecikme zamanlarını belirlemede uygun bir ağırlıklandırmanın yapılmasının sağlıklı sonuç eldesi için çok önemli bir unsur olduğu görülmüştür. Ayrıca, bir sismik olay üzerinde sağlıklı bir faz ayrımı yapmak icin bu olayın birden fazla kaydı üzerinde bahsedilen bu işlemlerin tek tek uygulanması ve daha sonra sonuçların ortak bir yorumundan tekil bir sonuca gidilmesi tavsiye edilir. Kepstrum yöntemi üzerinde yapılacak olan daha detaylı çalışmalar; örneğin sismolojide gerçek yerküre modelleri için oluşturulacak yapay sismogramlar üzerindeki kepstral incelemeler kepstral yöntemlerin etkinliğini arttıracak ve daha fazla bilginin elde edilmesini sağlayacaktır.

SUMMARY

Some spectral techniques are used for definition of the delay times of interfered waves. First of all theoretical models consisting of more than one signals are evaluated and spectral methods are tested to determine the delay times. Then these methods were applied to the vertical component seismograms of teleseismic events, to obtain delays for pP and PcP phases.

Berlage function have been used in model studies to represent teleseismic data. For different delay times, spectral nulls, autocorrelation function, power cepstrum, complex cepstrum, and autocorrelation cepstrum computed from autocorrelation function are used on the models. Phase differences between the components of the model were also tested as well as delay times.

Power cepstrum is an efficient technique in determining arrival times and amplitudes of the wavelet while complex cepstrum determines waveform of the main signal and its echoes. Besides, complex cepstrum gives information about the phase differences. Furthermore, we have tried to obtain the main signal from models by filtering complex cepstrum and transforming back to the time domain.

During the processing of the observational data weightening of the signal seemed as an important operation for a better resolution. In order to have a precise phase identification on a seismic record, we have to study on seismograms of an event recorded at various stations. After applying spectral techniques to each of those data, interpretation would be quite easy.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yerküre içinde meydana gelen depremler sonucu açığa çıkan enerji yeriçinde elastik dalgalar halinde yayılır. Fakat yerkürenin homojen olmayışı ve buna bağlı olarak anizotrop olması, diğer taraftan tabakalı bir yapıya sahip olması sebebiyle yeriçinde yayılan elastik dalgalar, süreksizlik sınırlarında girişim gibi bir takım karmaşık olaylarla karşıkarşıyadır. Dolayısıyla bir depremin yeryüzündeki herhangi bir istasyondaki kaydında yerin kompleks yapısının etkilerini içeren izler bulunacaktır. Sismolojide bir çok araştırmacı sismogram adı verilen bu kayıtlara çeşitli teknikler uygulayarak yerin karmaşık yapısını çözmeye çalışmaktadır.

Bu çalışmaya konu olarak seçilen cisim dalgalarındaki girişim olayları, çeşitli spektral tekniklerle incelenmektedir. Amaç; kayıtlar üzerindeki P fazlarına ait gecikme zamanlarının gerçeğe yakın degerlerini belirlemek ve bu işlemi yaparken kullanılacak olan tekniklerin hangi koşullarda ne derece etkin olduğunu ortaya çıkarmaktır.

Sismolojide P-pP veya P-PcP fazları arasındaki gecikme zamanının duyarlı olarak belirlenmesi odak derinliğinin hassas hesaplamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bir deprem olayı için pP fazı ile geçikme zamanının belirlenmesi, olayların derinliğinin kestirilmesine olanak sağlar (Cohen, 1970).

Bu çalışmada dünya çapında sismograf şebekesinde kaydedilen telesismik depremlerle (1000 km' den uzak) ilgilenilmektedir. Burada bizim ilgilendiğimiz olayların pP ve sP fazlarının sismogramlar üzerinde gözle ayırt edilmesine olanak sağlamıyacak kadar sığ bir derinlikte meydana geldiğini sanıyoruz. İncelemelerde pP ve sP fazlarının, belirginliği sağlaması için olayın yeterince sığ derinlikte meydana geldiği düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan Giriş Bölümünde çalışmaya ilişkin açıklayıcı bilgiler verilmektedir. İkinci Bölümde sismolojik verilere göre yeriçinin tabakalı yapısı, elastik dalgaların yeriçinde yayıldıkları ortamın fiziksel özellikleri, dalga fazları, zaman-uzaklık tabloları ile ilgili özet bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Üçüncü Bölümde faz ayrımında kullanılan spektral tekniklerin teorik açıklaması yapılmıştır. Uygulamaların yeraldığı Dördüncü Bölümde ise tekniklerin oluşturulan modellerde ve daha sonra gözlemsel veriler üzerindeki uygulamaları verilmektedir. Son bölümde ise modeller ve gözlemsel veriler üzerinde kullanılan tekniklerin karşılaştırılması ve elde edilen sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

BÖLÜM 2

YERİN TABAKALI İÇ YAPISI

Sismoloji; elastik dalgaların yeriçinde kaynaklanması ve yayılması ile ilgili çalışmalar yapan jeofiziğin temel bir dalıdır. Bu çalışmaların sonucunda yeryuvarının içindeki tabakalanmayı meydana getiren kayaçların elastik özellikleri ve süreksizliklerin derinlikleri hakkında önemli bilgiler edinilir.

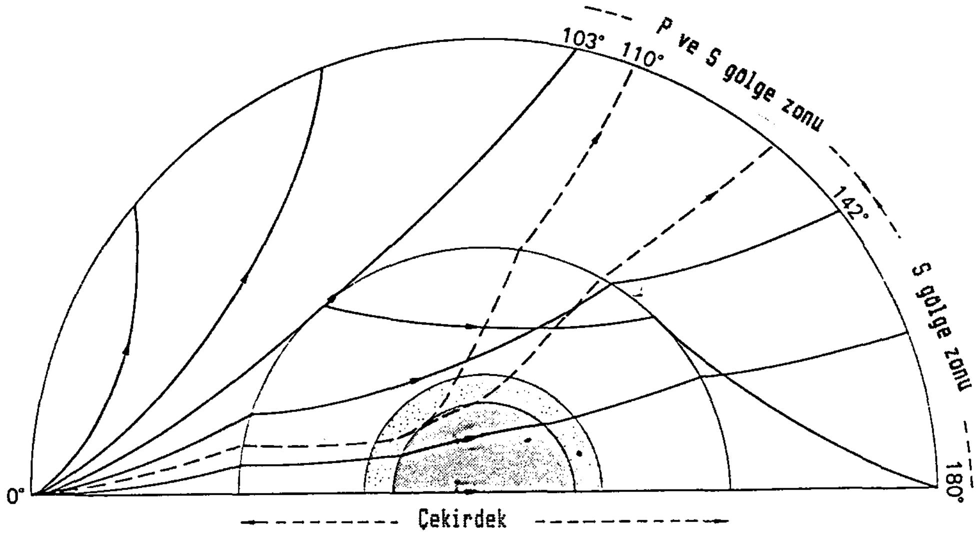
Şimdiye kadar yapılan sismolojik çalışmalardan yerkürenin tabakalı bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmaların başlangıcı 19. yüzyılın başlarında başlamış, elastisite teorisi ve dalga yayılımı ele alınarak fiziksel kavramlar ve matematiksel bağıntılar geliştirilmiştir. Asrın başından önce sismografların hızla geliştirilmeye başlanması ve sonradan dünya üzerinde yaygınlaştırılması sonucunda bir çok önemli bilgiler elde edinilmiştir. Bu çarpıcı sonuçları şöyle özetliyebiliriz;

- Yeriçinde yoğunluk (δ) ve rijiditenin (μ) derinlikle artmasına rağmen rijiditenin yoğunluğa göre derinlikle daha hızlı arttığının ortaya çıkartılması,
- Yerin; kabuk, manto, çekirdek ve iç çekirdek gibi önemli katmanlarının bulunduğu,
- Önceleri deprem odağının yalnızca yerkabuğuna yakın mesafelerde olduğu kabul edilirken 700km derinliğe kadar inenlerinin bulunduğunun keşfi,
- İlk kayıtların yapıldığı günden itibaren sırasıyla 'P' den başka 'S' ve daha sonra yüzey dalgalarının deprem olayında varlığının ortaya çıkarılmasıdır.

Sismolojide yaklaşık 1950'lerden önce yapılan bu önemli keşiflerin pek çoğu depremler sonucu açığa çıkan cisim dalgalarının seyehat zamanları üzerinde yapılan çalışmalara dayanır. O yıllarda yerin radyal bir simetriye sahip olduğu kabul edilerek pek çok farklı depremin episantrdan olan olası açısal uzaklıkları (0°-180°'e kadar) için P ve S dalgalarının zaman uzaklık tabloları ve eğrileri yapılmıştır. Günümüzde en çok yararlanılan zaman uzaklık eğrileri Jeffreys ve Bullen (1967) tarafından hazırlanan eğrilerdir. Daha önce Gutenberg ve Richter (1936) tarafından hazırlanan eğriler kullanılmaktaydı. Zaman uzaklık eğrileri ayrıca odak derinliğine bağlı olarak ta hazırlanmaktadırlar. Herrin ve arkadaşlarının (1968) hazırladıkları transit zamanları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman uzaklık eğrilerinin en önemli yararlarından birisi meydana gelen depremlerin episantr uzaklıklarının saptanmasını sağlamalarıdır.

Yeriçinde bir çekirdeğin var olması gerektiği 1906 yılında Oldham tarafından episantrları 180°ye yakın mesafelerdeki kayıtlardan P dalgalarının incelenmesi ve beklenen varış zamanlarından daha geç gelmeleri sonucu ortaya atılmıştır. Bu gecikmenin nedeni olarak yer icinde düşük hıza sahip bir çekirdeğin varlığı ileri sürülmüştür. Daha sonra yapılan detaylı çalışmalar bu durumu kanıtlamıştır(Şekil-2.1).

Episantrdan yaklaşık 103° ye kadar olan açısal uzaklıklarda P ve S dalgaları gözlenmektedir (Şekil-2.1). Yerkabuğunun altında manto olarak bilinen bölgede hız derinlikle devamlı artmaktadır. Diğer taraftan 103° ile 142° arasında kalan bölgede P ve S dalgaları görünmemektedir ve bu bölgeye "Gölge Zonu" adı verilir. 142° ile 180° arasında ise P varışları görülürken S varışları görülmez. Bu durum



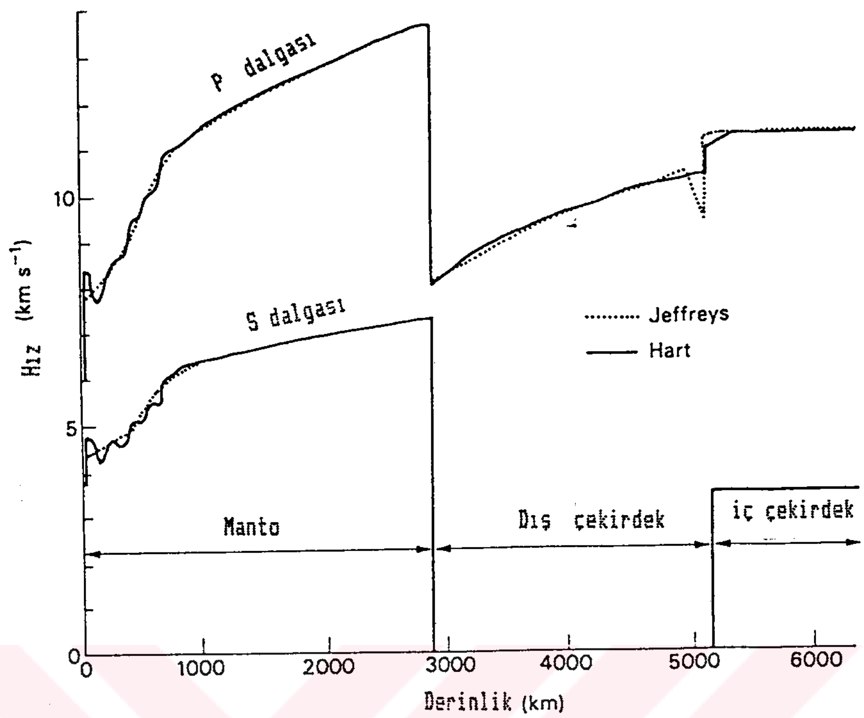
Şekil-2.1. Yeriçinden geçen P dalgalarına ait seçilmiş bazı ışın yörüngeleri, P ve S gölge zonları görülmektedir. Kesikli cizgi ile gösterilenler gölge zonundaki zayıf P varışlarıdır. Gutenberg(1959)'dan yararlanarak çizilmiştir.

gösterir ki yerin merkezinden yaklaşık yarıçapın yarısı kadar bir mesafede bir süreksizlik var olup burada P hızı aniden düşmekte ve S dalgaları yok olmaktadır, dolayısıyla mantonun altında sıvı bir çekirdek yer almaktadır. Bu süreksizliğin derinliği süreksizlikten gelen yansımalar dahil pek çok yöntemle belirlenebilinmektedir. 1914 yılında Gutenberg bu derinliği 2900 km olarak hesaplamıştır (Son zamanlarda yapılan çalışmalar bu kestrimi 14 km azaltmıştır). Çekirdeğin ortalama yarıçapı 3470 km dir. Çekirdek- manto sınırı "Gutenberg süreksizliği" olarak bilinir.

Sığ derinlikte ikinci bir ana süreksizlik Mohorovicic (1909) tarafından 8 Ekim 1909 Yugoslavya depremine ait sismogramlar üzerindeki çalışmasıyla bulunmuştur. Mohorovicic iki P ve S pulsları gözlemiş ve bunları daha yüksek hıza sahip mantonun üzerinde yer alan yaklaşık 50 km kalınlıktaki düşük hızlı kabuğun sebep olduğu yansıyan ve doğrudan gelen P ve S varışları olarak yorumlamıştır. Bu ara sınır "Mohorovicic süreksizliği" (veya sadece MOHO) olarak adlandırılır. Yapay patlatmalarla yapılan sismik yansıma çalışmaları bu keşfi daha da geliştirmiştir. Daha önce yüzey dalgalarının dispersiyonu üzerine yapılan çalışmalarla kabuğun kıtalara göre okyanusların altında daha ince olduğu ileri sürülmüş ve daha sonra yapılan kırılma (refraction) çalışmaları bu durumun doğru olduğu ispatlamıştır.

Katı yerkürenin üç ana kısmı 1910'larda bilinmekteydi. 1. ve 2. Dünya Savaşları arasındaki sürede sismolojide yapılan asıl çaba P ve S dalgaları için yeriçindeki hız-derinlik dağılımının daha duyarlı hesaplanması olmuştur. Bunun gerçekleşmesi episantrdan olan tüm açısal mesafeler için dalgaların zaman-uzaklık bilgilerinin yeterli düzeyde derlenip toparlanmasına bağlıdır. Eğer yerkürede radyal bir simetri varsa hızın derinlikle sürekli olarak arttığı ispatlanmalıdır. P ve S dalgalarının zaman-uzaklık eğrilerinden yararlanarak matematiksel işlemlerle hız-derinlik eğrileri hesaplanabilinir. Bu yöntemi Jeffreys (1939) kullanarak manto içinden geçen P ve S dalgaları için hız-derinlik eğrilerini hesaplamıştır. Jeffreys çekirdekteki bu hız dağılımını deneme-yanılma yöntemiyle elde etmiştir.

Jeffreys (1939)'in hız-derinlik dağılımı, Hart ve diğ.(1977) tarafından yapılan daha yeni bir hız-derinlik dağılımı ile karşılaştırılabilir (Şekil-2.2). 700 km derinliğin üzerindeki derinlikler için yapılan çok daha yeni dağılımlar, yaklaşık 80 ile 300 km derinlikte düşük hızlı bir zonun varlığını ortaya koymaktadır ve ilk defa Gutenberg(1953) tarafından ileri sürülmüştür. Her iki dağılımda yaklaşık 370 ve 720 km arasındaki derinlikte hızda bir basamak şeklinde artımın olduğunu gösterir. Fakat en son yapılan çalışmalar bu artımın düzenli olmaktan çok bir seri basamaklar biçiminde olduğunu göstermektedir. Bu zon "manto-geçiş" zonu olarak bilinir ve üst manto ile alt manto arasındaki bölgede yer almaktadır. Üst mantoda ve 5100 kmdeki hızlarda görülen basamaklar şeklindeki artım hariç tutulursa

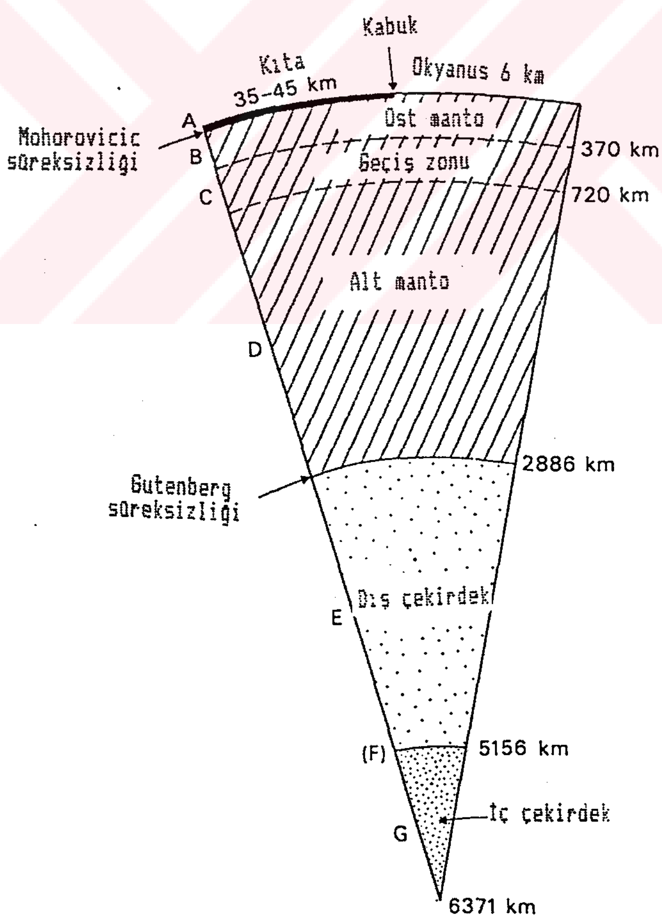


Şekil-2.2. JEFFREYS hız-derinlik dağılımı ile HART ve diğerlerinin(1977) hız-derinlik dağılımının karşılaştırılması (Bott,1982).

Tablo-2.1. Yerin tabakalı yapısı, sismik hız dağılımından (Şekil-2.2) yararlanılmıştır. Harfler konsantrik zonları temsil eder ve Bullen (1963) terminolojinden faydalanılmıştır (Bott,1982).

	BÖLGE	Derinlik (km)	
KABUK	A	0-20	(değişken kalınlıkta)
Mohorovicic süreksizliği			
	B	20-370	üst manto
MANTO	C	370-720	geçiş zonu
	D	720-2886	alt manto
Gutenberg süreksizliği			
CEKIRDEK	E	2886-5156	dış çekirdek
	G	5156-6371	iç çekirdek

iki dağılım eğrisinin de aynı olduğu görülür. 5100 km de görülen bu olay ilk defa Lehmann(1936) tarafından 110° ile 143° açısal uzaklıklarda ki gölge zonuna gelen zayıf P varışlarının gözlenmesiyle keşfedilmiştir. Bu varışları manto-çekirdek sınırında olan kırınım (diffraction) ile açıklamak uygun olmayıp, iç çekirdek sınırında P hızındaki bir artıştan dolayı meydana geldiği kabul edilmektedir. Geçmişte bir geçiş zonu olarak değerlendirilen bu zon şimdi, geçiş bölgelerinin arasındaki keskin bir sınır olarak kabul edilmektedir. Bu sınır, düşük hıza sahip dış çekirdeği, içinde S dalgalarının geçişinin çok yavaş olduğu bilinen yüksek hızlı iç çekirdekten ayırır. Yerin tabakalı yapısı Tablo-1.1 ve Şekil-2.3'da özetlenmiştir.



Şekil-2.3 Yerkürenin tabakalı yapısı (Bott,1982).

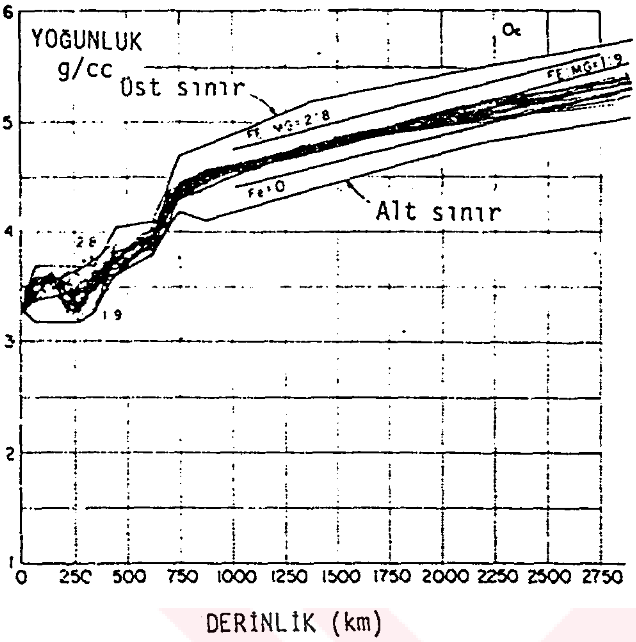
Kabuk, manto ve çekirdek arasındaki sınırlar, elastik özelliklerde ve yoğunlukta göreceli ani değişikliklerin ve normalde esas bileşimsel değişiklerin olduğu yerlerdir, diğer bir deyişle normalde esas kimyasal değişimlerin olduğu yerler olarak bilinir. Yeriçinin önemli sınırlarından birisi üst manto içerisinde yaklaşık 100 km derinlikte olup bileşimden ziyade reolojik özelliklerdeki değişimlerle tanınır. Bu sınır yerin litosfer olarak adlandırılan üst kabuğu ile bunun altında yer alan ve astenosfer adı verilen kısımları arasında yer alır. Litosfer, kabuk ve mantonun en üst kısmını ihtiva eden bir terimdir. Astenosfer ise yaklaşık 300 km derinliğin altına kadar uzanır ve bu bölgedeki reolojik özellikler hakkındaki bilgilerimiz azdır. Bu derinlikte lateral değişimler vardır. Günümüzde litosfer ve astenosfer kavramları, plaka tektoniği kuramını açıklamada anahtar teşkil ederler.

Yerkürenin yapısını belirlerken, yeryüzünde elde edilen veriler fizik prensiplerinden yararlanılarak değerlendirilir. Gözlemsel verilerin yorumu sonucundan yerkürenin fiziksel parametrelerle tariflenen yapısı diğer bir deyişle modeli ortaya konulur. İlk defa Lamb 1904'de sismograf kayıtlarının belirli yerküre modelleri için teorik olarak elde edilebilineceği fikrini ortaya atmıştır. Daha sonra (1960'larda) bu fikir, bilgisayarların devreye girmesi ve digital işlemlerin yapılabilmesi sonucu daha rahat ve etkili olarak kullanılmaya başlanıldı. Son yıllarda ise yeriçinin parametreleri değiştirilerek gözlemsel verilere en iyi uyan yerküre modelleri saptanmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan hızla gelişen veri-işlem yöntemleri, aygıtsal olanaklar ve yoğun çalışmalara rağmen henüz yerküremizin gerçek yapısını verecek bir model ortaya çıkmamıştır.

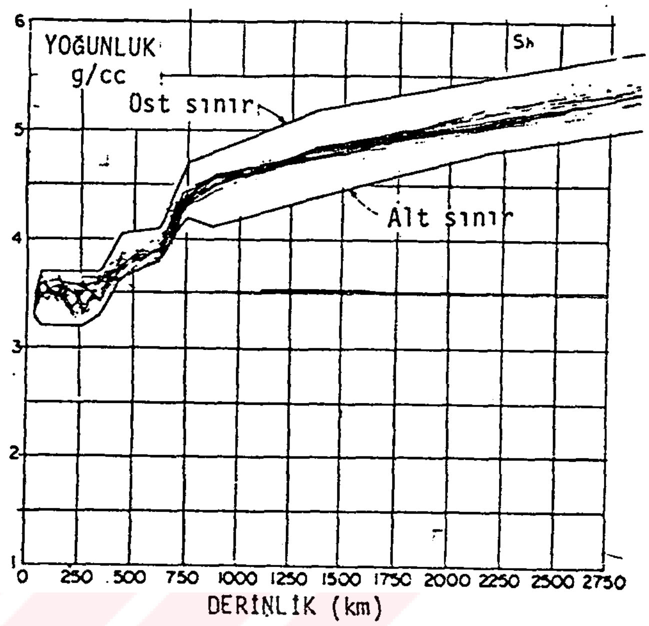
Bu tür model çalışmalarına Press (1973) ve Wiggins

(1974)'in yapmış oldukları model çalışmalarını verebiliriz. Press yoğunluğun derinlikle değişimini Monte Karlo yöntemiyle incelemiş, veri olarak elastik dalgaların transit zamanlarını, yerkürenin serbest salınımlarının özperiyodlarını, yerin kütlesini ve atalet momentini kullanmıştır. Rastgele sayılardan yararlanarak yaklaşık beş milyon model oluşturmuş ve bunlardan sadece altı tanesi bütün testlerden başarıyla geçmiştir. Şekil-2.4'de elde edilen yoğunluk modelleri görülmektedir. Bu modeller kıtasal bölgelerin altındaki yapılar için hesaplanmıştır. Okyanusların altındaki yapıya ait yoğunluk modelleri ise Şekil-2.5'tedir. Her iki şekilde de yer içinde 750km'ye kadar olan yapıda süreksizliklerin bulunduğu anlaşılmakta, 750km'den sonra 2900km'ye kadar yoğunluk yavaş ve düzgün olarak artmaktadır. Yerküre içinde 750km derine kadar olan bölgede önemli tektonik olaylar meydana gelmektedir. Litosfer, kıta-okyanus sınırlarında kıtaların altına doğru dalmakta, odak derinlikleri 700km'ye kadar varan depremler olmaktadır.

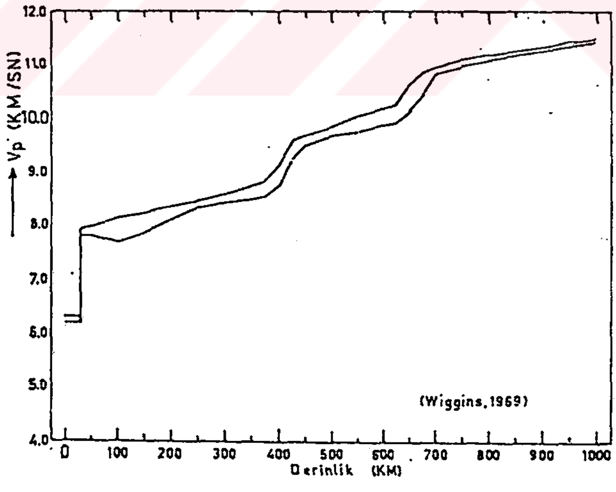
Cisim dalgalarının transit zamanlarıyla, ışın parametrelerinin veri olarak kullanıldığı Monte Karlo yöntemi Wiggins tarafından uygulanarak yerküre içindeki yoğunluk ve hız dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır. Wiggins elde ettiği yerküre modelleri için tekrar geriye dönerek ışın parametresi-episantr uzaklığı (P,Δ) ve zaman- uzaklık (T,Δ) eğrilerini hesaplıyarak elde ettiği sonuçları gözlemsel verilerle karşılaştırmıştır. Sonuçta, yeriçinde 1000km' ye kadar sismik P dalga hızı için önerilen model Şekil-2.6'da görülmektedir. Yaklaşık 430 ve 650km'lerdeki hız gradyentlerine sırasıyla, olivin-spinel faz değişimi ve spinelden oksitlere geçişin neden olduğu öne sürülmektedir.



Şekil-2.4 Yörüngeleri okyanusların altından geçen deprem dalgalarından yararlanılarak Monte Karlo yöntemi ile elde edilen mantoda yoğunluk modelleri (40-2900 km arası). Bu modeller çeşitli Fe/Mg oranları için hesaplanmıştır (Press,1968).



Şekil-2.5 Yörüngeleri kıtaların altından geçen deprem dalgalarından yararlanılarak Monte Karlo yöntemi ile elde edilen mantoda yoğunluk dağılımı modelleri (Press,1968).



Şekil-2.6 Elastik cisim dalgalarının transit zamanlarının veri olarak kullanılmasıyla Monte Karlo yöntemi ile inversiyon yapılmış ve yer içinde 1000 km ye kadar boyuna dalga(P) hızının dağılımı için yukarıdaki model elde edilmiştir. Yaklaşık 430 ve 650 km lerdeki hız gradyentlerine sırasıyla, oliven-spinel faz değişimi ve spinelden oksitlere geçişin neden olduğu öne sürülmektedir (Wiggins,1969).

BÖLÜM 3

DALGA FAZLARININ AYRIMINDA SPEKTRAL YÖNTEMLER

3.1 Giriş

Sismolojide hem cisim dalgaları hem de yüzey dalgaları için girişim olayları incelenmektedir. Cisim dalgaları için yapılan çalışmalar özellikle yapısal kökenli bir girişimi vurgulaması yönünden P-pP girişimi üzerinde yoğunluk kazanmıştır. P-pP girişimin incelenmesinde P ve pP dalga fazlarının birbirinden ayrımından ziyade daha çok zaman farkını (gecikme zamanını) saptayıp, odak derinliğini bulma amacı güdülmektedir. P-pP girişimlerinin incelenmesinde gecikme zamanını saptamak için kepstrum yönteminden (Bogert ve diğ. 1963, Cohen 1969, 1970), özilişki, çapraz- ilişki, ters süzgeçleme (Antssey,1964; Backus, 1966; Howell ve diğ.,1967; Guha, 1970) ve spektral sıfırlar (spectral nulls) yöntemlerinden (Flinn ve diğ.,1973) yararlanılmaktadır. Cisim dalgalarında bu konuda incelenilen diğer örnek ise P ile monto-çekirdek sınırından yansıyan PcP fazının P-PcP girişimi olmuştur. Aynı bakış açısı ile P ve PcP arasındaki girişimi vurgulayan kayıtların genlik spektrumundaki modülasyon incelenerek, kabuk-manto sınırı (Frazier,1967) ve kabuktaki yansımalar (Buchbinder,1968) hakkında köklü bilgiler saptanmıştır. Ayrıca yüzey dalgalarındaki girişim olaylarının incelenmesi çeşitli araştırmacılar (Pilant ve Knopoff,1964; Filson ve Mc Evilly,1967; Wu,1968; Niazi,1969; Capon,1971; Berg,1975; Ezen, 1979,1983) tarafından yapılmıştır.

3.2 Spektral Analiz Yöntemleri

3.2.1 Özilişki Yöntemi

Bir $x(t)$ kaydının, $y(t)$ yalın sinyali ve dT gecikme zamanlı, a genliğine sahip ikinci bir sinyalin, $a.y(t-dT)$, toplamından oluştuğunu farzedelim. Girişime uğramış sinyal;

$$x(t)= y(t) + a.y(t-dT) \qquad (3.1)$$

şeklindedir. $x(t)$ girişime uğramış sinyalin özilişki fonksiyonu $Cxx(\tau)$;

$$Cxx(\tau)= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y(t).ay(t-dT)\, dt}{\int_{-\infty}^{\infty} y^2(t)\, dt} \qquad (3.2)$$

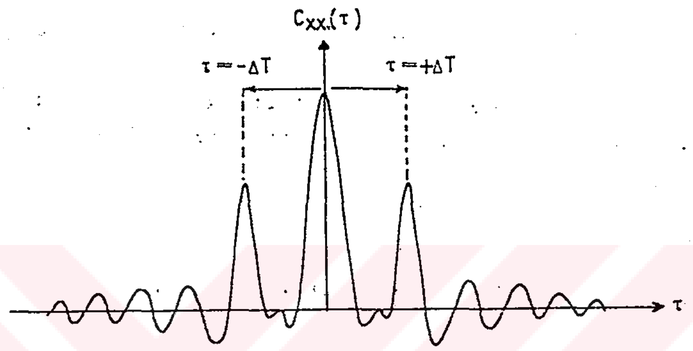
veya

$$Cxx(\tau)= \frac{(1+a^2).Cyy(\tau)+a[Cyy(\tau+dT)+Cyy(\tau-dT)]}{(1+a^2)+2a.\cos(dT)} \qquad (3.3)$$

biçimindedir (Pilant ve Knopoft, 1964; Flinn ve diğ.,1973).

Burada $Cyy(\tau)$ sadece ilk yalın sinyal $y(t)$ nin özilişki fonksiyonudur. (3.3) ifadesindeki girişmiş sinyalin özilişki fonksiyonunun aslında üç bileşeni vardır. Bunlardan birincisi, $(1+a^2)$ genliğine sahip $\tau=0$ kayma zamanlı (lağlı) ilk yalın sinyalin özilişki fonksiyonu $Cyy(\tau)$ dir. İkincisi gecikme zamanı $\tau=dT$ kadar kaymış, a genliğine sahip $aCyy(\tau+dT)$ fonksiyonudur ve üçüncüsü lağı $\tau=-dT$ kadar kaymış $aCyy(\tau-dT)$ fonksiyonudur. Bu bileşik ifade kayma zamanının (τ) fonksiyonu olarak çizildiğinde $\tau=0$ da, yani merkezde en büyük genlikli pikten başka, $\tau=dT$ ve $\tau=-dT$ gecikme zamanlarında simetrik ikinci pikleri verecektir. Şekil-3.1' de sözü edilen bu kuramsal özellik sembolik biçimde gösterilmektedir.

Diğer taraftan $(1+a^2)Cyy(\tau)$ fonksiyonu ile $[Cyy(\tau+dT) + Cyy(\tau-dT)]$ fonksiyonu arasındaki muhtemel faz farkları gecikme zamanı dT'yi saptamada güçlükler doğurabilir ve bazen bu bileşke özilişki fonksiyonundan gecikme zamanını saptamak kolay olmayabilir (Flinn ve diğ.,1973).



Şekil-3.1 Aralarında dT kadar gecikme olan iki sinyalin toplamı olan bir sinyalin (3.3) bağıntısına göre otokorelasyon fonksiyonunun sembolik görünümü.

3.2.2 Spektral Sıfırlar (spectral nulls) Yöntemi

Bu yöntem esas olarak, ilk yalın sinyal ile onu belli bir zaman gecikmesi ile izleyen ikinci sinyalin toplamı olan girişmiş sinyalin genlik spektrumundan yararlanarak gecikme zamanını saptamayı amaçlar. Bu nedenle ilk önce girişmiş sinyalin genlik spektrumunun bu açıdan nasıl yorumlandığını incelememiz gerekir.

İlk yalın sinyal y(t) ve dT gecikme zamanlı, a genliğine sahip ikinci sinyal ay(t-dT) nin toplamı sonucu olan girişmiş sinyal x(t);

$$x(t) = y(t) + a.y(t-dT) \qquad 0<a<1 \qquad (3.1)$$

şeklindedir. X(w) ve Y(w) sırası ile x(t) ve y(t) nin karmaşık Fourier dönüşümünü simgelemek üzere (3.1) bağıntısınının kompleks Fourier dönüşümü alınırsa

$$X(w)=Y(w)+\ a\int_{-\infty}^{\infty} y(t-dT)\ e^{-iwt}\ .\ dt \qquad (3.5)$$

yazılabilir. Fourier dönüşümünün zaman kayma özelliğinden yararlanarak (3.5) bağıntısı

$$X(w)=Y(w)+a.\int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iw(t+dT)}\ .\ dt$$

$$X(w)=Y(w)+a.\int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iwt}\ .\ e^{-iwdT}\ .\ dt \qquad (3.6)$$

elde edilir. Burada,

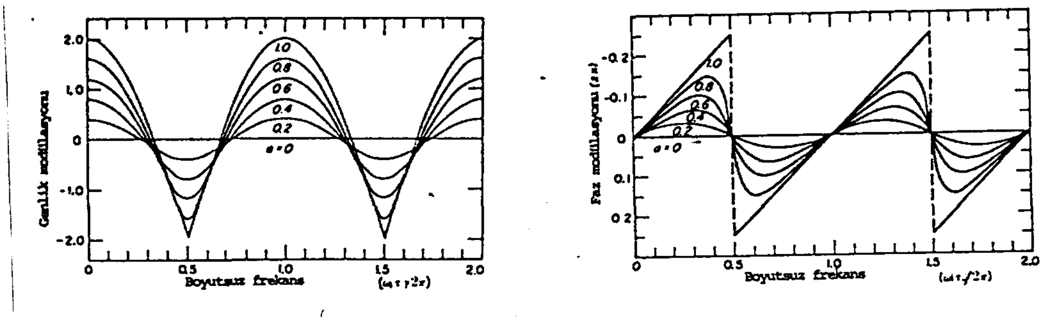
$$Y(w)=\int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iwt}\ dt$$

ilk olayın genlik spektrumu olduğundan

$$\begin{aligned} X(w)&=Y(w)\ +\ a.Y(w).\ e^{-iwdT} \\ &=Y(w)[1+a.exp(-iwdT)] \end{aligned} \qquad (3.7)$$

biçiminde yazılabilir. (3.7) bağıntısının sağ tarafı girişmiş sinyalin kompleks spektrumudur. Bu spektrum [1+a.exp(-iwdT)] karmaşık terimi ile modülasyona uğratılmış Y(w) spektrumuna (ilk yalın sinyalin spektrumu) eşdeğerdir. Diğer bir deyişle ilk olayın spektrumunu modülasyona uğratan [1+a.exp(-iwdT)] kompleks teriminin genlik ve faz davranışını incelemek gecikme zamanı dT'yi bulmada yarar sağlayacaktır.

Bu tür bir inceleme Pilant ve Knopoff(1964) ve Wu(1968) tarafından ayrıntılı olarak yapılmıştır. Şekil-3.2' de [1+a.exp(-iwdT)] karmaşık teriminin genlik ve faz fonksiyonlarını, gecikme zamanına (dT) göre nasıl davrandığı görülmektadir.



Şekil-3.2. Aralarında dT kadar gecikme olan iki sinyalin toplamı girişmiş bir sinyalin genlik ve faz modülasyonları(Pilant ve Knopoff,1964)

Şekil-3.2' yi daha iyi anlamak için şu benzetimi yapmak yararlıdır. Frekans ortamında olunduğuna göre [1+a.exp(-iwdT)] terimi karmaşık bir G(w) spektrumu gibi düşünülürse bu G(w) karmaşık spektrumunun genlik spektrumu $|G(w)|$;

$$G(w)=1+a.\exp(-iwdT)$$

$$|G(w)|^2 = [1+a.\exp(-iwdT)].[1-a.\exp(-iwdT)]$$

$$|G(w)|^2 = [1+a^2+2a.\cos(wdT)] \qquad (3.8)$$

$|G(w)|^2$ güç spektrumu cinsinden (3.8) bağıntısındaki tanımı alacaktır.

Şekil(3.2)' de genlik modülasyonu olarak isimlendirilen fonksiyon (3.8) bağıntısındaki [2a.cos(wdT)] fonksiyonudur. Zira sabit $(1+a^2)$ terimi dışında, spektrumu modülasyona uğratan 2a.cos(wdT) terimi olup, taşınan dalga gibi davranır. Diğer taraftan Şekil(3.2)'de faz modülasyonu olarak adlandırılan G(w) karmaşık spektrumunun faz spektrumu Ø(w) ise

$$G(w)=1+a.\exp(-iwdT)$$

$$G(w)=1+a.\cos(wdT) - ia.\sin(wdT)$$

$$Ø(w)= \mathrm{arctg}\,\frac{-a.\sin(wdT)}{1+a.\cos(wdT)} \qquad (3.9)$$

şeklindedir. Sonuçta boyutsuz frekans $m=w.dT/2\pi=f.dT$ olarak düşünülüp Şekil(3.2) deki

$$2a.\cos(2\pi m) \rightarrow \text{Genlik modülasyonu}$$

ve (3.10)

$$\operatorname{arctg}\frac{-a.\sin(2\pi m)}{1+a.\cos(2\pi m)} \longrightarrow \text{Faz modülasyonunun}$$

boyutsuz frekans $(m=f.dT=wdT/2\pi)$ in fonksiyonu olarak çizildikleri görülür. Şekil(3.2) deki genlik modülasyonunda

$f.dT=1/2,\ 3/2,\ 5/2,\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ için minimum

(3.11)

$f.dT=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ için maksimum

demektir. Bunun eşdeğer anlamı, genlik modülasyonundaki minimumların karşılık geldiği frekansı F_{min} ve maksimumların karşı geldiği frekansı F_{max} göstermek üzere

$F_{min}=1/2\ dT,\ 3/2\ dT,\ 5/2\ dT\ \ldots\ldots\ldots$

(3.12)

$F_{max}=1/dT,\ 2/dT,\ 3/dT\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

demektir. Ortak biçimde k izlenen spektral minimum ve maksimumların sıra sayısını göstermek üzere (3.12) bağıntısı

$F_{min}=(2k-1)/2.dT$

$k=0,\ 1,\ 2,\ 3\ \ldots\ldots\ldots$ (3.13)

$F_{max}=k/dT$

şeklinde yazılabilir. (3.13) bağıntısında k yerine konulacak değişik değerler için Şekil-3.2 deki genlik modülasyonundaki maksimum ve minimumlar daha açık anlaşılabilir. Örneğin (3.13) bağıntısında k=0 için $f.dT=0.5$; yani $f.dT=w.dT/2\pi=0.5$ olduğu yerde Şekil-3.2 de genlik modülasyonu minimum vermektedir. Benzer şekilde k=1 için $f.dT=1$ dir; yani $f.dT=w.dT/2\pi=1$ olduğu yerde genlik modülasyonu maksimum değer almaktadır.

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz; girişmiş sinyalin genlik ve güç spektrumunda izlenen spektral maksimum ve minimum frekansları doğrudan doğruya gecikme zamanlarını vermektedir. Buna karşılık (3.13) bağıntısında gerek maksimum, gerekse minimumların karşı geldiği frekanslar arasındaki adım hep sabit kalmaktadır. df bu sabit frekans adımını göstermek üzere;

$$df=1/dT$$

veya (3.14)

$$dT=1/df$$

şeklindedir. Bunun diğer bir anlamı; girişmiş sinyalin genlik spektrumunda maksimum ve minimumlar frekans ekseni boyunca df=1/dT aralığı ile sıralanmaktadır.

Diğer taraftan Flinn ve diğ.,(1973) tarafından önerilen bir teknikle yalnız, okunan minimum (spektral nulls) frekansları (Fmin) minimum sayılarının fonksiyonu olarak çizilmektedir. Çizimden saptanan doğrunun eğimi df yi veya dT gecikme zamanı değerini verecektir. Bu şekilde spektral sıfırlar doğrusu ve eğiminin tersinden gecikme zamanını saptamaya "Spektral Sıfırlar" yöntemi adı verilir. Burada spektral sıfırlar doğrusunun çiziminden amaçlanan şudur: spektruma girebilecek denetlenemeyen unsurlardan dolayı maksimum ve minimumlar gerçek yerlerinden kayma yapabilir. Bu durumda (3.13) bağıntısı kullanılarak bulunan gecikme zamanları hatalı olabilir.

Bu gibi durumlarda, spektrumda sadece spektral minimumların geliştiği frekanslar ve bunların sayılarının doğrusal bir fonksiyonu çizilir. Eğer okunan minimum frekansların bazılarında kayma olmuşsa grafikte noktalar bir doğru üzerinde sıralanmayacaklardır. Ancak en az hata ile çizilecek yaklaşık bir doğrunun eğimi yine ortalama bir dT gecikme değeri verecektir. Bu yolla bulunan dT gecikme zamanı değeri (3.13) bağıntısından yararlanarak tek tek maksimum ve minimumların frekanslarından okunarak bulunan birbirlerine göre hayli değişik düzeydeki dT değerine göre daha homojen ve güvenilir olacaktır.

3.2.3 Kepstrum Yöntemi

Kepstrum düşüncesi Poisson(1823), Schwarz(1872), Szegö (1915) ve Kolmogorov(1939)'in nedensel (causal) sistemlerin sistem fonksiyonunun elde edilişinde; rastgele süreçlerin güç spektrumunun araştırılması problemlerinin çözümü için yaptıkları klasik çalışmalarında ortaya atılmıştır (Silvia ve Robinson,1979). Jeofizikte ilk kez spektral ayrıştırma (spectral factorization) probleminin tartışılmasında Robinson(1954) tarafından kullanılmıştır. Daha sonra, Bogert ve diğ.,(1963) veri işlemde de (signal processing) kullanmışlardır. Bunu, Bogert ve Ossanna(1966), Oppenheim ve Schafer(1975), Tribolet(1978), Kemerait(1971), Kemerait ve Childers(1972), Kemerait ve Sutton(1982) ve diğer bir çok araştırmacının çalışmaları izlemiştir.

Bogert ve arkadaşları; derin sismik kaynağın derinliğinin hesabında ve ayrıca doğal sismik olaylar ve yeraltı nükleer patlatmaların oluşturduğu dalgaların ayrıştırılması çalışmalarında kepstrum yöntemini kullanmışlardır. Bu esnada frekans ortamındaki magnitüd, frekans, faz ve filtre yerine kepstrum ortamında sırasıyla "gamnitude", "quefrency", "saphe", ve "lifter" deyimlerini kullanmışlardır. Zaten kepstum kelimesi de spektrum kelimesindeki bazı harflerin yerlerinin değiştirilerek yeniden düzenlenmesi sonucu türetilmiştir.

Bogert kepstrumu, "güç spektrumunun tabii logaritmasının güç spektrumu" olarak tanımladı ve bu kavram günümüzde girişmiş dalgalarda gecikme zamanlarının ve genliklerinin saptanmasında başarıyla uygulanmaktadır. Bugün kepstrum denilince, güç spektrumunun tabii logaritmasının ters Fourier dönüşümü anlaşılmakta olup, zaman serileri ve sinyal analizi teorisinde özilişki ve spektrum fonksiyon- larının yerini almıştır (Silva ve Robinson, 1979, s.163). Childers ve Durling(1975)' de hesaplanması, uygulanması hakkında ise Kara ve Alptekin (1983), Somerwille ve diğ. (1976), Kemerait ve Childers (1972), Kemerait ve Sutton (1982)'de ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Kepstrum yönteminin uygulama alanları olarak; radar, sonar, sismoloji, konuşma (speech), beyin dalgaları ve nöroelektrik spike verilerindeki sinyallerin rezolüsyonu ve ayrışımını (decomposition) verebiliriz. Tarihsel gelişimi gözönüne aldığımızda güç kepstrumunu, Noll(1964) konuşmada (speech) ve Cohen (1970) sismolojide kullanmışlardır. Diğer taraftan homomorfik dekonvolüsyon yönteminin daha geniş bir uygulama alanı olduğu görülür. Örnek verilirse bu yöntemi Senmoto ve Childers(1972) ve Oppenheim ve diğ. (1968) tarafından konuşma, echo ve fotoğraf işlenmesi gibi alanlarda, Ulrych (1971) sismolojide, Prabhakar ve Gupta (1970) ise olasılık yoğunluk fonksiyonunun ayrımında kullanmışlardır.

(3.7) bağıntısından hatırlanacağı gibi birincil sinyal ve onu belli bir gecikme zamanı ile izleyen ikinci sinyalin toplamı olan x(t) sinyalinin spektrumu X(w),

$$X(w)=Y(w)[1+a.\exp(-iwdT)] \qquad (3.7)$$

şeklindeydi. Karmaşık (kompleks) değişkenler için, Px(w), toplam sinyalin güç spektrumu, Fourier spektrumunun karesi şeklinde yazılacağından

$$X(w)\ X(w)^{*} = Y(w)\ Y(w)^{*}\ [1+a.\exp(-iwdT)][1+a.\exp(+iwdT)]$$

$$|X(w)|^{2} = |Y(w)|^{2}[1+2.a(\exp(-iwdT) + \exp(+iwdT))/2 + a^{2}] \quad (3.15)$$

elde edilir. Burada "*" karmaşık eşlenik (complex conjugate)'i simgelemektedir. (3.15) denklemi yeniden düzenlenerek yazılırsa Py(w) ilk olayın güç spektrumu, Px(w) toplam sinyalin güç spektrumunu göstermek üzere;

$$Px(w)=Py(w)(1+a^{2}+2.a.\cos(w.dT) \quad (3.16)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi Px(w) güç spektrumuna yankıların (echoes) katkısı $(1+a^{2}+2acoswdT)$ şeklindedir. Bogert ve diğ(1963)'nin önerdikleri lineer olmayan işlem (3.16) bağıntısının logaritmasının alınmasıdır. Bu logaritma işleminin amacı içeriğinde gecikme zamanı parametresi bulunan $(1+a^{2}+2acoswdT)$ periyodik dalgacığın Py(w) üzerindeki küçük olan etkilerini büyütmek,hem de frekans ortamındaki çarpımsal etkiyi toplama dönüştürmektir. (3.16) bağıntısının adi logaritması alındığında

$$Log(Px(w))=Log(Py(w))+Log(1+a^{2}+2acoswdT) \quad (3.17)$$

elde olunur. $(a^{2}+2acoswdT)$ ye x diyerek, eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terimin

$$Log[1+x]=(x-x^{2}/2+x^{3}/3-x^{4}/4+\ldots\ldots\ldots\ldots)$$

şeklinde seriye açıldığı düşünülerek (3.17) bağıntısı yeniden yazılacak olursa

$$\text{Log } Px(w) = \text{Log } Py(w) + [a^2 + 2a\cos wdT - (a^2 + 2a\cos wdT)^2/2 + \ldots.]$$
$$= \text{Log } Py(w) + [a^2 + 2a\cos wdT - 2a^2\cos^2 wdT + \ldots\ldots\ldots\ldots]$$

elde edilir. Denklemin sağ tarafındaki ikinci terim de

$$2a^2\cos^2 wdT = a^2 + a^2\cos 2wdT$$

şeklinde yazılarak

$$\text{Log } Px(w) = \text{Log } Py(w) + [2a\cos wdT - a^2\cos 2wdT + \ldots\ldots.] \quad (3.18)$$

elde edilir. Burada a değeri $0<a<1$ arasında değişmektedir. (3.18) eşitliğinin sağ tarafındaki ikinci terimde $a^2\cos 2wdT$ ve daha sonrakiler gittikçe küçüleceklerinden ihmal edilebilirler. Böylece (3.17) eşitliği yaklaşık olarak

$$\text{Log } Px(w) = \text{Log } Py(w) + 2a\cos wdT \quad (3.19)$$

biçiminde yazılabilir. Sinyalin kepstrumu (3.19) bağıntısındaki logaritmik güç spektrumunun ters Fourier dönüşümüne eşittir. Sinyalin güç spektrumu olan Log Px(w) nin Fourier dönüşümü,

$$C(c) = \int_{-\infty}^{\infty} \text{Log } Py(w)\, e^{-iwdT} .dw \quad (3.20)$$

şeklindedir. Bunun karesi x(t) sinyalinin logaritmik güç spektrumunun güç spektrumudur(Cohen,1970):

$$C(p) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \text{Log } Py(w)\, e^{-iwdT} .dw \right|^2 \quad (3.21)$$

veya

$$C(p) = |C(c)|^2$$

şeklinde yazılabilir.

Diğer taraftan Oppenheim ve diğ.(1968) diğer kepstrum türü olan kompleks kepstrumu homomorfik dekonvolüsyon olarak lineer olmayan bir süzgeçleme türü olarak tanımlamaktadırlar. Basit biçimde kompleks kepstrum, sinyalin kompleks (karmaşık) spektrumunun kompleks tabii logaritmasının ters Fourier dönüşümü olarak tanımlanır. Bu tanıma göre (3.7) bağıntısındaki girişmiş sinyalin kompleks spektrumu gerçel ve sanal bileşenler türünden

$$X(w)=a(w)+ib(w)$$

$$X(w)=\{a(w)^2+b(w)^2\}^{1/2}.e^{i\,arctg(b(w)/a(w))} \qquad (3.22)$$

$$X(w)=A(w).e^{i\emptyset(w)}$$

şeklinde yazılabilir. (3.22) bağıntısının tabii logaritması alınırsa

$$F(w)=\ln(A(w))+i\ \emptyset(w) \qquad (3.23)$$

yazılabilir. F(w) nin ters Fourier dönüşümü ise F(c) kompleks kepstrumu verir,

$$F(c)=\int_{-\infty}^{\infty} F(w)\ e^{iwdT}.dw \qquad (3.24)$$

Burada c nin birimi yine saniye olup, ortam yine quefrency ortamıdır. Kompleks kepstrumu, klasik kepstrumdan ayıran en önemli özellik adi logaritma yerine kompleks tabii logaritmanın alınmasıdır. (3.23) bağıntısında görüldüğü gibi kompleks tabii logaritmanın alınması faza ilişkin bilgileri de taşımaktadır. Halbuki klasik kepstrum hesaplanmasında, doğrudan güç spektrumuna geçilerek faza ilişkin bilgiler yok edilerek logaritma alınmaktadır. Faz bilgisinin önemli olduğu sinyallerde bu yolu seçmek yetersiz kalabilir. Ancak güvenilir kompleks kepstrum elde etmek için (3.24) bağıntısındaki Ø(w) faz spektrumunun sürekli olması (unwrapped) zorunludur.

Bilindiği gibi arctg fonksiyonunda $\pi/2$ deki süreksizlikler faz eğrisinde sıçramalara neden olmakta ve sürekliği bozmaktadır. Halbuki faz eğrisinin $-\pi<\emptyset<\pi$ için sürekli, 2π periyodu ile tekrarlanan tek(odd) fonksiyon olması istenir. Bu sürekliliği sağlamak için Schafer(1969), Stoffa ve dig.(1974) ve Tribolet(1977) değişik yöntemler geliştirmişlerdir.

Kompleks kepstrumu daha iyi açıklamak için yine bir kaynak dalgacığı ile bir yankısının olduğu durumu inceliyelim. Zaman ve frekans ortamındaki ifadeleri hatırlanacağı gibi (3.1) ve (3.7) eşitlikleri olup, yeniden yazarsak;

$$x(t)= y(t) + a.y(t-dT) \quad (3.1)$$

$$X(w)=Y(w).[1 + a.exp(-iwdT)] \quad (3.7)$$

Burada X(w) ve Y(w) karmaşık niceliklerdir. (3.7) ifadesinin kompleks logaritması alınırsa;

$$\log[X(w)]=\log[Y(w)]+\log[1+a.exp(-iwdT)] \quad (3.25)$$

elde edilir. x=a.exp(-iwdT) diğerek, eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terimi

$$\log[1+x]=(x - x^2/2 + x^3/3 - x^4/4 + ...)$$

şeklinde logaritmik seriye açarsak

$$\log[1+a.exp(-iwdT)]=a.exp(-iwdT)-a^2/2 .exp(-i2wdT) +... (3.26)$$

elde edilir. Bu durumda bu ifadenin ters Fourier dönüşümü alınırsa kompleks kepstrum elde edilir;

$$F^{-1}\{\log X(w)\}= F^{-1}\{\log Y(w)\} +a.\delta(t-dT) -a^2/2\ \delta(t-2dt)+ ...(3.27)$$

Burada yankının genliği dalgacığın genliğinden küçüktür (a<1). Sonuçta tek yankılı dalgacıktan oluşan kompozit bir sinyalin kompleks kepstrumunu almakla kepstrumundaki görünümü şöyle olacaktır; orjinal dalgacık sinyalinin Fourier dönüşümünün kompleks logaritmasının ters Fourier dönüşümü ve buna ek olarak pozitif zamanlarda işareti alternatif değişen ve genlikleri gittikçe azalan dT aralıklı delta fonksiyonları görülecektir.

Yankı genliğinin dalgacığın genliğinden büyük olması durumunda (a>1) benzer matematiksel işlemler yapılabilir;

$$\log[X(w)]=\log[Y(w)]+\log[a.exp(-iwdT).(1+1/a.exp(iwdT)$$

$$=\log[Y(w).a.exp(-iwdt)]+\log[1+1/a.exp(iwdt)] \quad (3.28)$$

Yukarıda yaptığımız gibi (3.28) eşitliğinin ikinci tarafını logaritmik seriye açarsak;

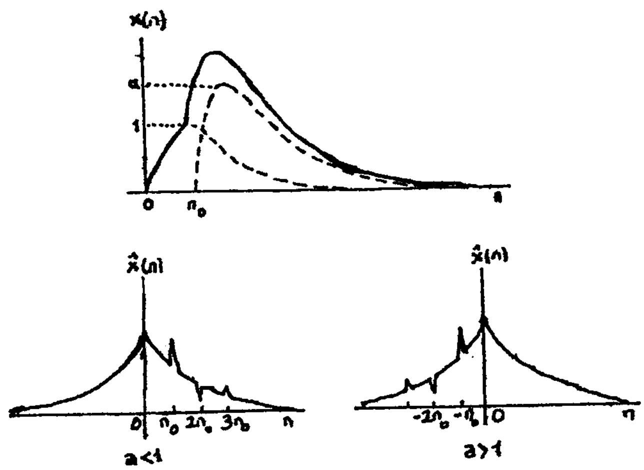
$$\log[X(w)]=\log[Y(w).a.\exp(-iwdT) + 1/a\ .\exp(iwdT) - 1/2.\ a^2.\exp(i2wdT) + \ldots \quad (3.29)$$

elde edilir. Bu ifadenin ters Fourier dönüşümünü alırsak

$$F^{-1}\{\log[X(w)]\}=F\{\log[Y(w).a.\exp(-iwdT)]\}+1/a\ .\delta(t+dT) - 1/2\ .a^2\,\delta(t+2dT)+\ \ldots\ldots\ldots \quad (3.30)$$

şeklinde kompleks kepstrum ifadesini elde ederiz. Sonuçta kompleks kepstrum; yankının Fourier dönüşümünün kompleks logaritmasının ters Fourier dönüşümü ve buna ek olarak negatif zaman kesiminde işareti alternatif değişen ve genlikleri gittikçe azalan, dT aralıklı impuls fonksiyonlarından ibaret olduğu görülür.

Bu işlemler sonucunda anlaşılmaktadır ki yankı genliği dalgacığın genliğinden küçük (a<1) olduğu zaman dT gecikme zamanı ve katlarına karşılık gelen delta fonksiyonları kepstrumun pozitif kısmında, dalgacığın genliğinden büyük (a>1) ise negatif kısmında görülecektir. Şekil-3.3' te her iki durum şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil-3.3. Tek yankılı dalgacıktan ibaret kompozit sinyalin kompleks kepstrumu (Kemerait ve Childers,1972).

Kompleks kepstrum üzerinde lineer filtreleme işlemi uygulanarak yankıların periyodik bileşenleri ortadan kaldırılabilir ve dalgacık elde edilebilir. Bu işlem uygun bir fonksiyonla frekans domeninde konvolüsyonla veya zaman domeninde kompleks kepstrumla çarpılarak yapılır. Genel olarak kompleks kepstrum üzerinde yapılabilecek üç tür filtreleme işlemi vardır. Bunları kısaca özetliyecek olursak;

-Tarak (comb) filtreleme: Değeri, yankılara karşılık gelen yerlerde sıfır, diğer yerlerde "1" olan bir fonksiyonla çarpılarak bu işlem yapılır. Daha sonra filtrelenmiş kompleks kepstrumda sıfırlanan noktaların yerine komşu bir önceki ve sonraki noktaların ortalaması alınıp yerleştirilir.

-Alçak-geçişli (short-pass) filtreleme: Yankının etkisini ortadan kaldırmanın diğer bir şekli olup, en küçük gecikme zamanının (n_o) bilinmesi ve zaman orjininden iyi ayırt edilebilir olması gibi şartların sağlanması gereklidir. Kompleks kepstrumda n_o ve daha büyük zaman değerlerine karşılık gelen yerlere sıfırlar yerleştirilerek bu filtreleme işlemi yapılır. Bu yöntemle sadece en küçük varış zamanlı (n_o) yankının sebep olduğu pikler kaldırılmaz; aynı zamanda n_o'den daha büyük zamanlarda gelen yankıların sebep olduğu piklerde kaldırılmış olunur. Eğer dalgacık ve yankılar birbirinden ayırt edilemiyecek durumda ise bu durumda yapılan alçak geçişli filtreleme işleminden sonra elde edilecek olan dalgacık distorsiyonlu olacaktır.

-Yüksek-Geçişli (Long-Pass) filtreleme: Echo varış zamanlarını belirlemede kullanılır. Bu işlemde ilk yankının varış zamanının bilinmesi veya kestirilmesi gerekir. Daha sonra kompleks kepstrum üzerinde ilk varış zamanına kadar olan kısma sıfırlar yerleştirilir. Bundan sonra ters işlemler yapılıp geriye dönülürse yankı devirlerine karşılık gelen delta fonksiyonları dizisi elde edilir.

Kompleks kepstrum üzerinde yukardaki filtre çeşitlerinden uygun birisi kullanılarak dalgacık ve yankıları birbirinden ayrılabilir. Bu işlemde önemli olan en küçük yankının varış zamanı güç kepstrumu ile belirlenebilir. Güç kepstrumu yankıların varış zamanlarını ve genliklerini belirlemede etkili bir yöntemdir. Güç kepstrumunun hesaplanışında faz bilgisi kaybolduğundan dalgacık ele geçirimi mümkün değildir. Bununla birlikte faz bilgisinin de hesaplamaya dahil edildiği kompleks kepstrum yöntemi ile dalgacık ve yankıları ele geçirilebilir, dalga şekilleri elde edilebilir.

Gürültünün mevcut olması veya olmaması durumlarında bir dalgacık ve bir yankısından oluşan kompozit sinyal için güç kepstrumu ve kompleks kepstrumu ifadelerinin bulunması ve filtreleme işlemlerinin yapılarak dalgacık ve yankıların eldesi gibi incelemeler Kemerait ve Childers (1972) tarafından yapılmış ve matematiksel ifadelerini vermişlerdir. Bunun yanı sıra bir dalgacık ve iki yankılı durum için matematiksel analiz yine aynı araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Diğer taraftan faz eğrisinin doğrusal bileşeni kompleks kepstrumu bastırarak bazı bilgilerin örtülmesine neden olur. Bunun için kompleks kepstrum hesaplanmadan önce faz eğrisi sürekli hale getirilip istenmeyen doğrusal faz bileşeni kaldırılmalıdır. Kompleks kepstrumun görünüşünü etkileyen bu değişiklik yeniden zaman ortamına dönüşte tekrar kazandırılması gerekir.

Öte yandan klasik kepstrum tekniği Oppenheim(1965) ve Schafer(1069) tarafından deniz sismiğindeki dekonvolüsyon problemine uygulanmıştır. Yine Ulrych (1971,1972) aynı yöntemle telesismik uzaklıktaki dalgaların kaynak fonksiyonlarını saptamıştır.

BÖLÜM 4

UYGULAMALAR

4.1 Model Çalışmaları

Bu çalışmada amaç, bir sismogram üzerinde P fazı ile veya manto-çekirdek sınırından yansıyan PcP fazları ve pP fazı arasındaki girişim olayının incelenmesi ve aralarındaki gecikme zamanının belirlenmesi olduğuna göre ilk önce bu tür sismolojik olayları temsil eden bir model üzerinde uygulanacak olan tekniklerin sınanması gerekir.

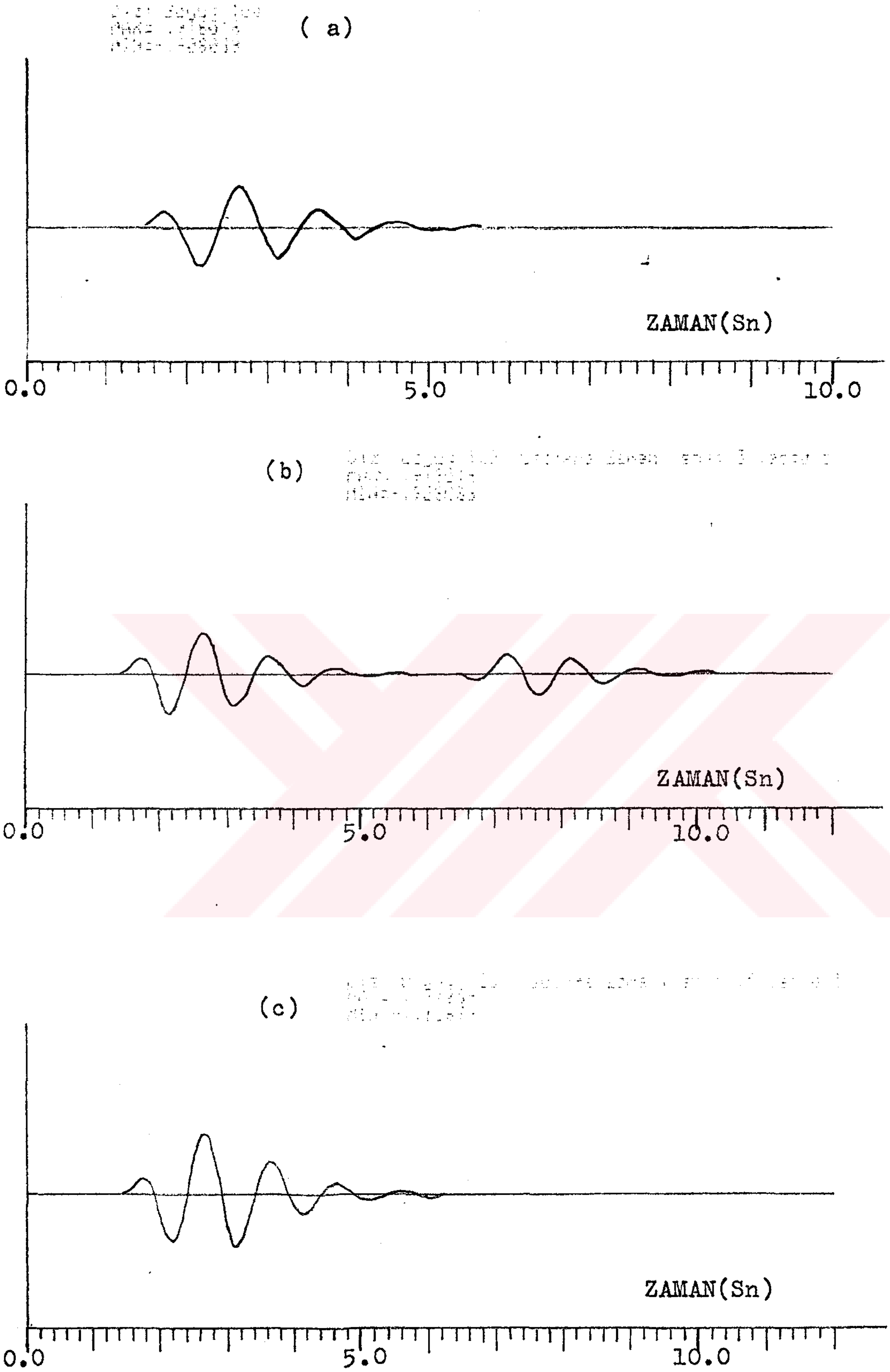
Bu amaçla yola çıkarak model çalışmasında P,pP fazlarını temsil eden Berlage fonksiyonu kullanılmıştır (Farnbach, 1975, Kemerait ve Sutton,1982):

$$st = \begin{cases} 0 & t<0 \\ t^2 \exp[2-2t] \sin(2\pi t) & t\geq 0 \end{cases} \tag{4.1}$$

Bu sinyal Şekil-4.1a'de görülmektedir. Berlage fonksiyonundaki üstel ifade pulsu başlangıç anından itibaren üstel bir sönüme uğratmaktadır(Farnbach,1975).

Tipik bir telesismik P fazını temsil eden bu modelde ana frekans bileşeni yaklaşık 1 Hz olup, genlik spektral değerleri 5 Hz'de 30 dB ile atenüasyona uğramaktadır (Kemerait ve Sutton,1982).

Şekil-4.1'de biri diğerine göre dT saniye gecikmeli iki sinyalin toplamından oluşmuş ve iki ayrı sismik olayı temsil eden zaman serileri görülmektedir (Şekil-4.1b,c). Her



Şekil-4.1 Berlage modeli simülasyonları; (a) Berlage fonksiyonu, (b) derin bir olayı temsil eden dT=5sn gecikmeli girişmiş iki sinyal, (c) sığ bir olayı temsil eden girişmiş iki sinyal.

iki zaman serisinde ilkini dT saniye gecikmeyle izleyen ikinci sinyal arasında 180° faz farkı vardır. Çünkü gerçekte pP fazı yerin serbest yüzeyinde yansıdıktan sonra P fazına göre 180° ters dönerek yansır ve aşağı doğru ilerlerken P fazıyla aynı yörüngeyi takip eder. Şekil-4.1' de ilk bakışta ortaya çıkarılacak olan sonuç; Şekil-4.1.b' de dT=5.0 sn gecikmeli iki sinyalin toplamından ibaret olan modelde iki sinyal arasındaki dT gecikme zamanı göz ile kestirilmektedir. Fakat Şekil-4.1.c' deki dT=0.5 sn gecikmeli model için dT zamanını göz ile kestirmek mümkün değildir. Bir gözlemci Şekil-4.1.c' deki modelin acaba tekil bir sinyali mi, yoksa iki sinyalin toplamı mı olduğunu kestiremez. Toplam sinyal eşitliğini yazarsak

$$p(t)=s(t)-a.s(t-dT) \qquad (4.1)$$

Burada; p(t) toplam sinyali, s(t) P fazını, a.s(t-dT) terimi pP fazını temsil eder. Gecikme zamanı ve atenüasyon sabiti, dT ve "a" ile gösterilmektedir.

Zaman ortamında gecikme zamanının belirlenmesinde uygulanacak olan yöntemlerden birisi toplam sinyalin özilişki fonksiyonunun alınmasıdır. Aralarında faz farkı olmayan (in-phase) ve dalga şekli aynı olan iki sinyalin toplamından oluşan toplam sinyalin özilişki fonksiyonu genel biçimde

$$Cxx(\tau)= (1+a^2).Cyy(\tau)+a[Cyy(\tau+dT)+Cyy(\tau-dT)) \qquad (4.2)$$

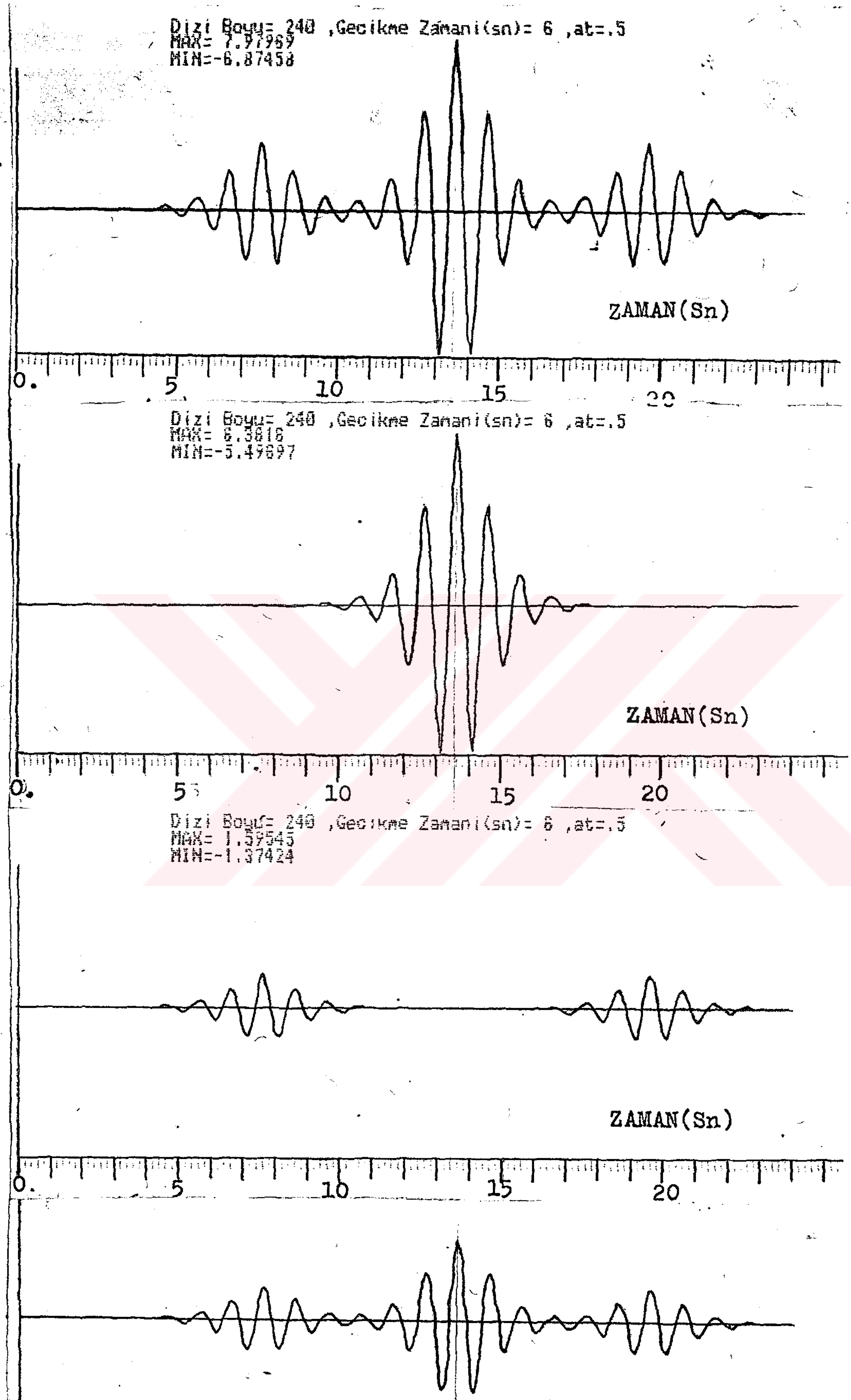
biçimindedir (Flinn ve diğ.,1973).

Bu ifededen görüldüğü gibi özilişki fonksiyonu simetrik olduğundan merkezde (τ=0'da) ($1+a^2$) genlik değerine sahip ilk yalın sinyal s(t)'nin özilişki fonksiyonu Cyy(τ) bulunmaktadır. Fonksiyon merkezinin her iki tarafında $\tau=\pm dT$ uzaklıklarda ise a genlikli yalın sinyalin özilişki fonksiyonu Cyy(τ) yer alacaktır.

Bu durumu daha açık olarak görebilmek için atenüasyon katsayısı $a=0.5$ ve gecikme zamanı $dT=6.0$ sn olan ve iki sinyal arasında herhangi bir faz farkı olmayan bir model düşünelim ve özilişki fonksiyonunu hesaplıyalım. Şekil-4.2a'da bu model için hesaplanan özilişki fonksiyonu görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi grafiğin tam ortasından itibaren simetrik olarak $(1+a^2)$ genlikli yalın sinyalin özilişki fonksiyonu yer almakta ve merkezi simetri ekseninin her iki tarafında da $a=0.5$ genlikli özilişki fonksiyonu bulunmaktadır. Ayrıca $(1+a^2)$ genlikli özilişki fonksiyonunun simetri noktasından a genlikli özilişki fonksiyonlarının simetri noktalarına olan uzaklık gecikme zamanını ($dT=6.0$ sn) tam olarak vermektedir.

Şekil-4.2.b,c' de ise bu durumu daha iyi açıklamak için yapılan iki çalışma görülmektedir. Şekil-4.2b'de görülen (4.2) bağıntısındaki $(1+a^2).Cyy(\tau)$ fonksiyonu grafiği; önce yalın sinyal s(t)'nin özilişki fonksiyonu hesaplanıp $(1+0.5^2)$ ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Şekil-4.2c'de ise yukarıda hesaplanan yalın sinyal özilişkisi $Cyy(\tau)$'nin $dT=\pm6.0$sn kadar kaydırılıp, toplanıp $a=0.5$ ile çarpılmasıyla elde edilen $a[Cyy(\tau-dT) + Cyy(\tau+dT)]$ fonksiyonu grafiğidir. Şekil-4.2d ise Şekil-4.2b,c grafiklerinin toplamı ile elde edilen kompozit özilişki fonksiyonudur. Şekil-4.2a ile Şekil-4.2d'nin aynı olduğunu görebiliriz. Böylece kompozit özilişki fonksiyonunun üç bileşenden ibaret olduğu görülür.

Diğer taraftan P-pP fazlarının girişimini temsil eden modelimizde iki faz arasında 180° faz farkı olması sebebiyle (4.1) ifadesindeki toplama işlemi çıkarma işlemine dönüşür. Diğer bir deyişle a'nın işareti negatif olur. Bu model için hesaplanan özilişki fonksiyonu Şekil-4.3a' da verilmiştir. Böyle bir durumda özilişki merkezinde yine $(1+a^2)$ genlikli yalın sinyalin özilişki fonksiyonu, merkezin her iki



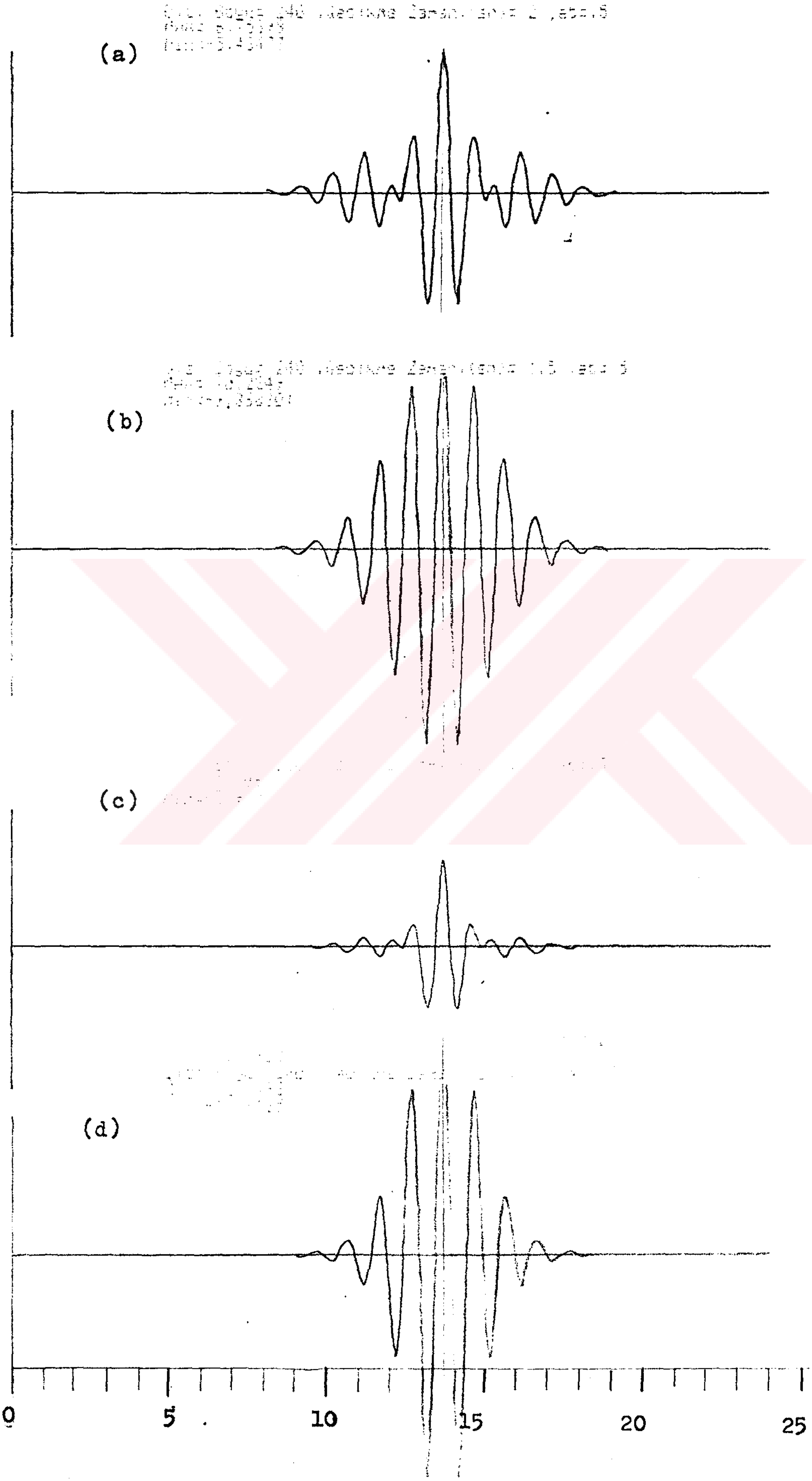
Şekil-4.2 dT=6sn gecikmeli ve at=0.5 atenüasyon katsayısına sahip girişmiş iki sinyalin özilişki fonksiyonu ve irdelenmesi.

Şekil-4.3 Aralarında Ø=180° faz farkı olan farklı gecikme zamanlarına sahip girişime uğramış iki sinyalin özilişki fonksiyonları.

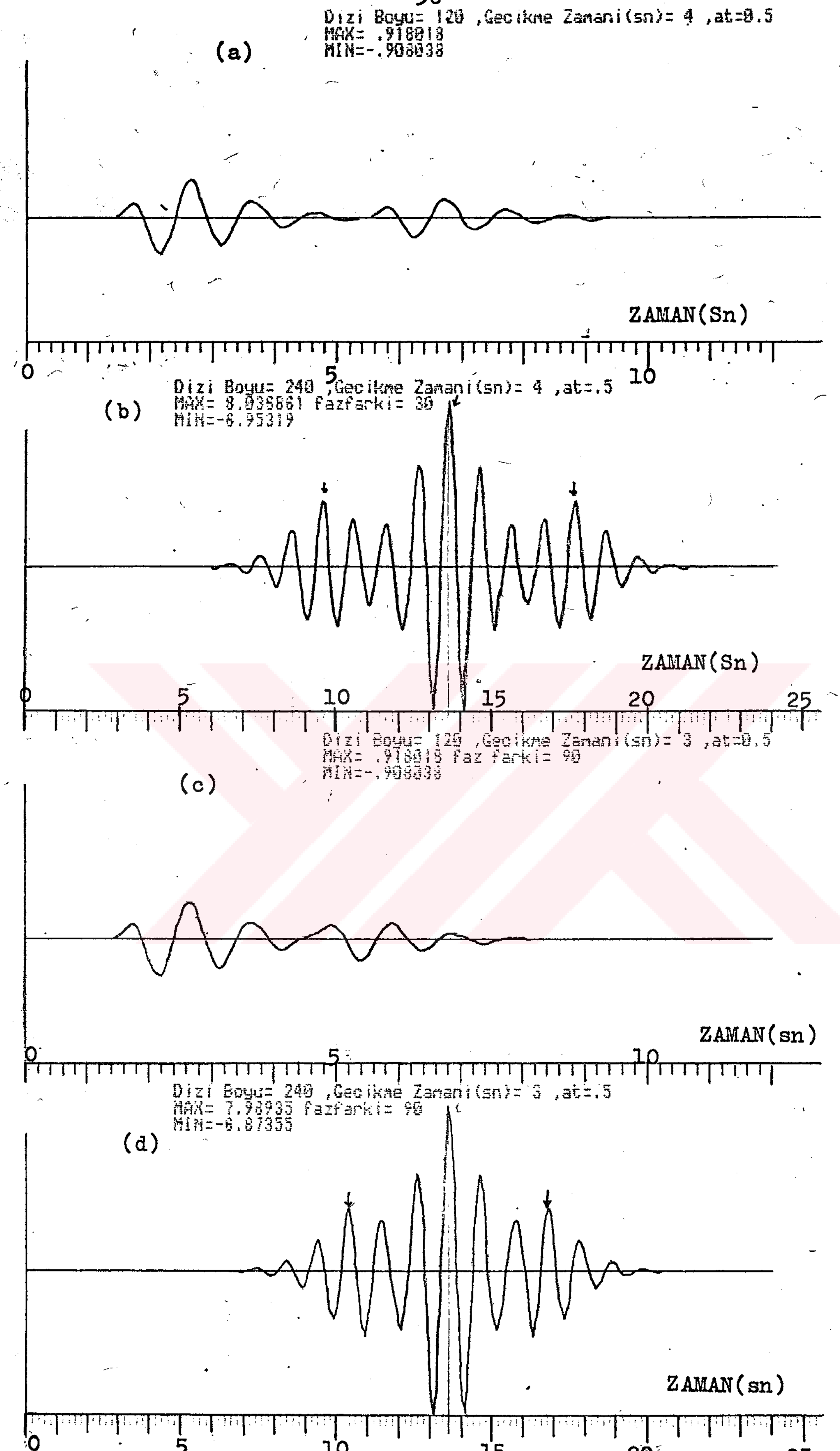
tarafında simetrik olmak üzere a genlikli fakat yatay eksene göre ters dönmüş yalın sinyalin öziliski fonksiyonları yer alır. Böyle bir durumda gecikme zamanının belirlenmesi için merkezdeki en büyük genlikli pikten itibaren aranılacak olan diğer büyük genlikli pikler yatay eksenin negatif kısmında bulunacaktır (Şekil-4.3.a).

Girişmiş sinyallerin öziliski fonksiyonundan yararlanarak gecikme zamanının bulunması işleminde gecikme zamanının ne derece belirlenebildiğini saptamak için farklı gecikme zamanları için benzer modeller oluşturuldu ve öziliski fonksiyonları alındı (Şekil-4.3,Şekil-4.4.). Modellerde kullanılan ve P,pP fazlarını temsil eden Berlage fonksiyonundaki sinyal uzunluğu yaklaşık 4 sn dir (Şekil-4.1). Şekil-4.3' de görüldüğü gibi yalın sinyalin uzunluğunun yarısından daha az olan gecikme zamanları için özgeçmişini bilmeden karar vermek oldukça zordur. Çünkü bu durumda aranılan pikin (4.2) ifadesine göre merkezdeki ($1+a^2$) genlikli yalın sinyalin öziliski fonksiyonuna mı ait olduğu, yoksa "a" genlikli yalın sinyalin öziliski fonksiyonuna mı ait olduğu tam olarak görülemez. Diğer taraftan bu yorumumuza rağmen öziliski fonksiyonu ile gecikme zamanları etkin olarak belirlenebildiği Şekil-4.3 ve Şekil-4.4 'ten görülmektedir.

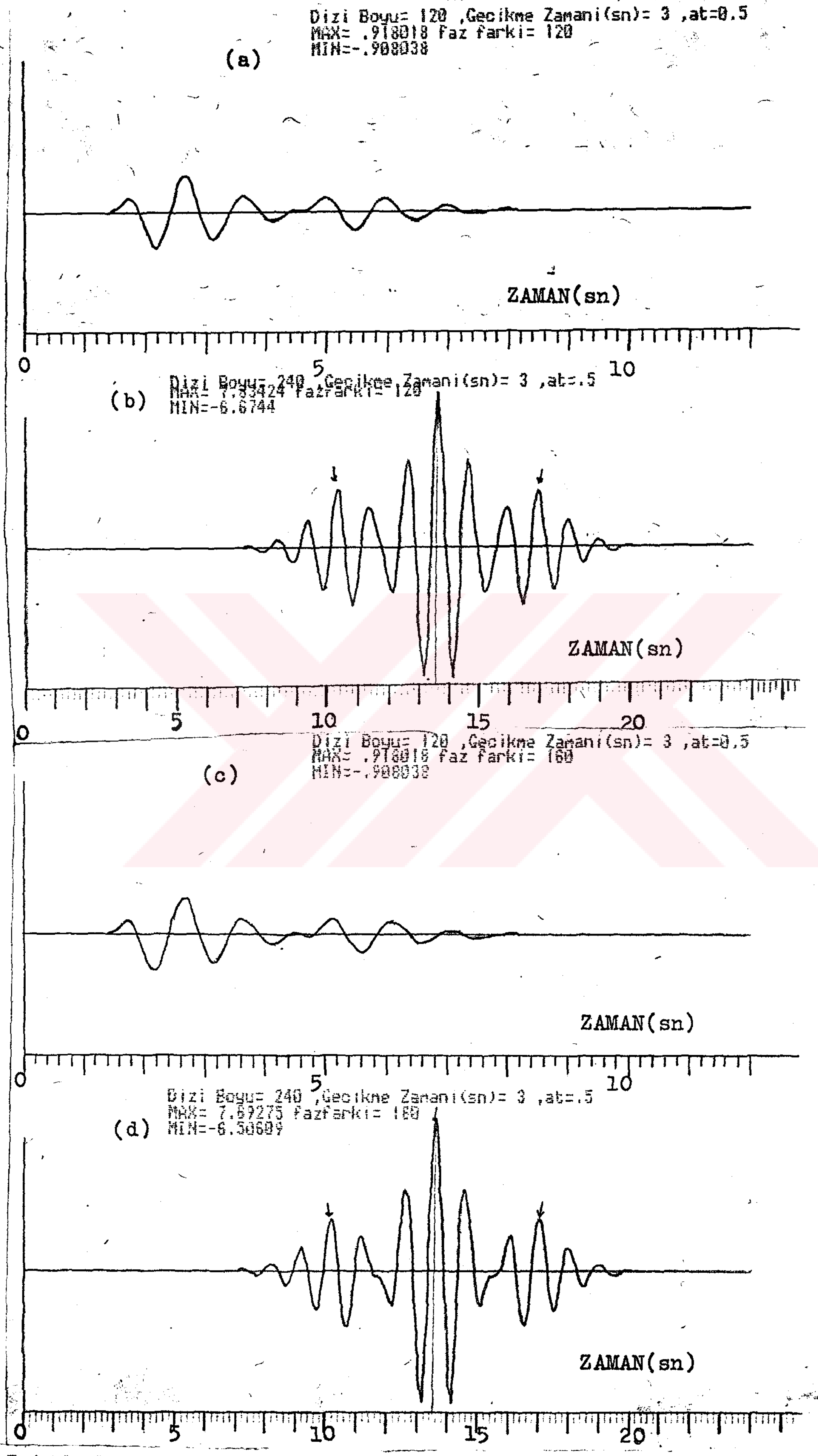
Girişime uğrayan iki sinyal arasında olabilecek faz farkının toplam sinyalin öziliski fonksiyonu üzerindeki etkilerinin ve özellikle gecikme zamanının belirlenmesindeki etkilerinin incelenmesi gerekir. Bu amaçla değişik faz farkı değerleri için oluşturulan modellerin öziliski fonksiyonları hesaplandı (Şekil-4.5, Şekil-4.6). Şekil- 4.5a,b'de gecikme zamanı (dT=4 sn), atenüasyon katsayısı a=0.5 ve aralarında $\emptyset=30°$ faz farkı olan model ve öziliski fonksiyonu görülmektedir. Merkezdeki pik ile ikinci sinyale ait öziliski fonksiyonundaki en büyük genliğe sahip pik arasındaki farktan



Şekil-4.4 Çeşitli gecikme zamanlarına sahip girişmiş iki sinyalin özilişki fonksiyonları; (a) dT=6sn, (b) dT=5sn, (c) dT=4sn (d) dT=[illegible]



Şekil-4.5 Değişik faz farkları için girişime uğramış iki sinyalin özilişki fonksiyonları; (a), (b) Ø=30° ve dT=4sn için model ve özilişkisi, (c), (d) Ø=90° ve dT=3sn için model ve özilişkisi.



Şekil-4.6 Degişik faz farkları için girişime ugramış iki sinyalin özilişki fonksiyonları; (a), (b) Ø=120° ve dT=3sn için model ve özilişkisi, (c), (d) Ø=160° ve dT=3sn için model ve özilişkisi bulunan gecikme zamanı değeri 4.1 sn dir. Şekil-4.5 c,d'de ise dT=3 sn, a=0.5 ve Ø=90°için oluşturulan model ve özilişki fonksiyonu görülmektedir. Hesaplanan gecikme zamanı değeri 3.2sn dir. Şekil-4.6'da verilen modellerde dT=3 sn, a=0.5 ve Ø=120° için 3.2sn ve dT=3 sn, a=0.5, Ø=160° için 3.2 sn bulunmuştur. Bütün bu model çalışmalarından görülmektedir ki, girişen iki sinyal arasında faz farkı olduğu zaman kompozit özilişki fonksiyonu üzerinde ölçülen gecikme zamanı değerleri gerçek gecikme zamanını tam olarak vermemektedir.

Girişim olayının frekans ortamındaki görünümünü incelemek için toplam sinyal p(t) nin Fourier dönüşümünü alalım;

$$P(w)=S(w)[1-a.\exp(-iwdT)] \qquad (4.3)$$

Güç spektrumu ise

$$|P(w)|^2=|S(w)|^2.(1+a^2-2a\cos wdT) \qquad (4.4)$$

şeklindedir. Tasarladığımız modelde pP fazının P fazına göre 180° faz farkı (out-of phase) olması nedeniyle pP fazını temsil eden terim (4.1) eşitliğinde görüldüğü gibi negatif değer alır. Frekans ortamında bu durum (4.4) eşitliğinden de görüldüğü gibi "cos w dT" terimi sebebiyle negatif bir modülasyon meydana getirecektir. Genlik spektrumunda minimumlar frekans ekseni üzerinde 1/dT Hz aralıklarla yerleşeceklerdir. Spektrumda iki minimum arasındaki uzaklığın tersi aranılan dT gecikme zamanını verir.

pP fazının gecikme zamanının kestirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi negatif bir (kosinüs) modülasyon görülen spektrumda ilk minimuma karşılık gelen frekansı dikkate almaktır. Bu frekans değerinin tersi istenilen gecikme zamanıdır. Fakat bu kestirimin yapılabilmesi için P fazının band genişliğinin cos wdT periyodundan daha büyük olması gerekir (Kemerait ve Sutton,1982).

(4.2) ifadesindeki [1-a.exp(-iwdT)] modülasyon teriminin yalın sinyal s(t)'nin genlik ve faz spektrumları üzerindeki etkisini inceleyelim. Modülasyon teriminin genlik spektrumu ve faz spektrumunu hesaplarsak

$$[1-a(\cos wdT - i\sin wdT)] \tag{4.5}$$

buradan genlik spektrumu,

$$|M(w)|=[(1-a\cos wdT)^2 +(a\sin wdT)^2]^{1/2} \tag{4.6}$$

ve faz spektrumu,

$$\emptyset_m(w)= \operatorname{arctg} \frac{a \sin w\, dT}{1-a \cos w\, dT} \tag{4.7}$$

şeklinde yazılabilir. Şimdi modülasyon teriminin genlik spektrumu ve faz spektrumu $|M(w)|$ ve $\emptyset m(w)$ olsun. Bu simgelemeye göre (4.2) ifadesini kutupsal koordinatlar cinsinden yazarsak

$$P(w)= |S(w)|\, e^{i\emptyset s(w)} . \ |M(w)|.e^{i\emptyset m(w)} \tag{4.8}$$

elde edilir. Buradan toplam sinyalin genlik spektrumu

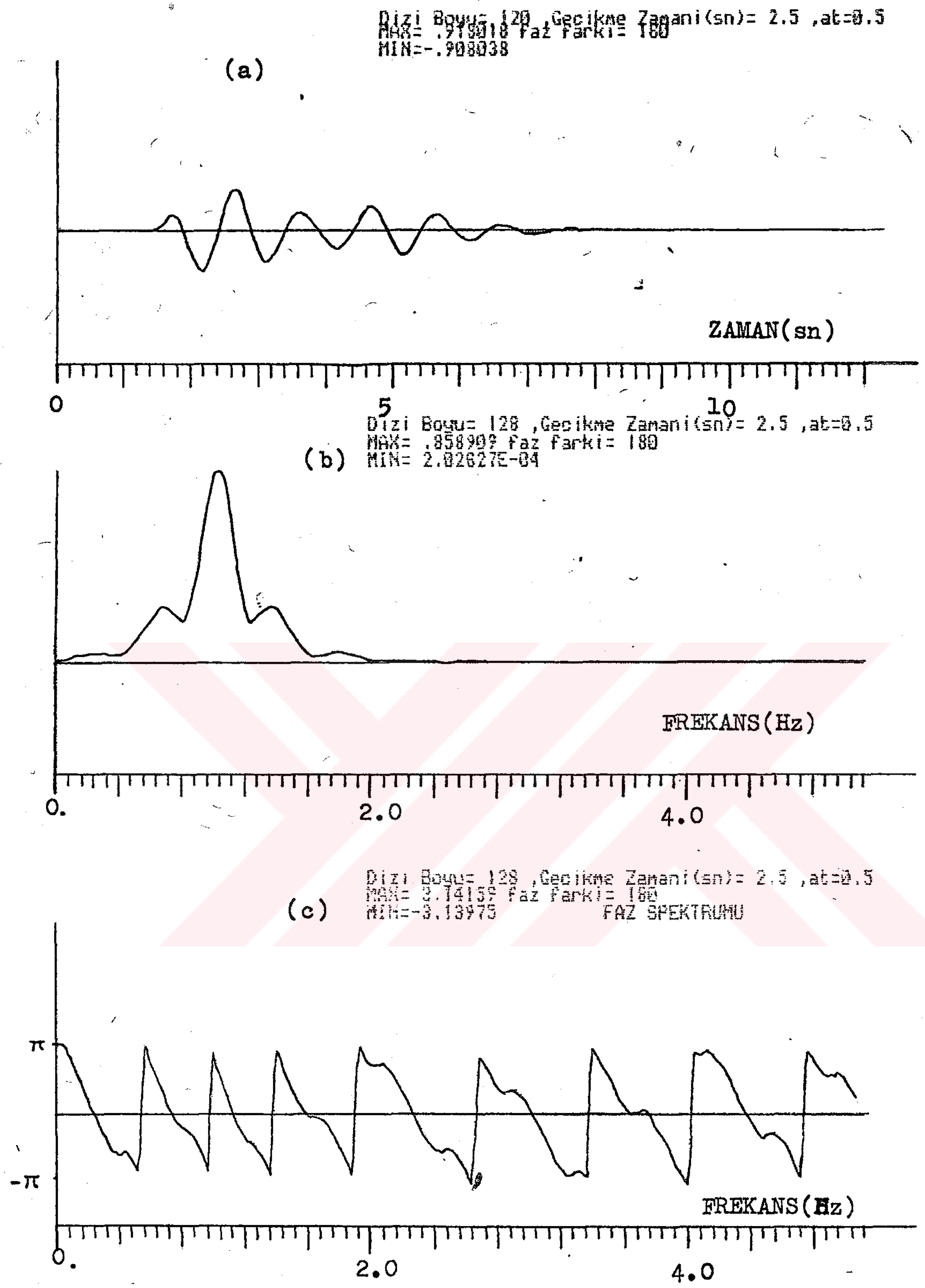
$$|P(w)|=|S(w)|.\ |M(w)| \tag{4.9}$$

şeklindedir. Toplam sinyalin faz spektrumu ise

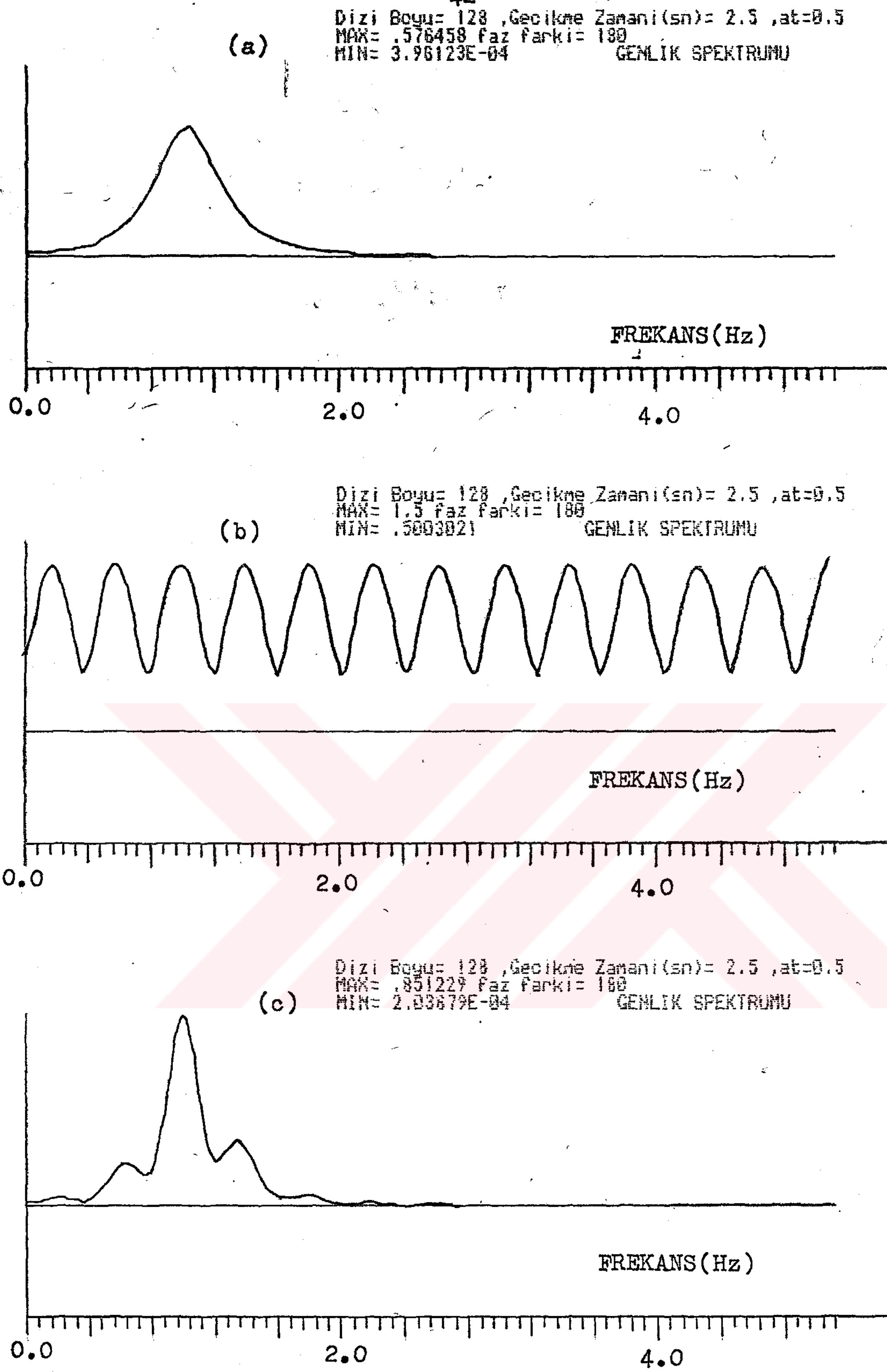
$$Ø_p(w) = Ø_s(w) + Ø_m(w) \qquad (4.10)$$

şeklinde yazılabilinir.(4.9) eşitliğinde görüldüğü gibi modülasyon teriminin genlik spektrumu ile yalın sinyalin genlik spektrumu çarpılarak toplam sinyalin genlik spektrumu elde edilmektedir. Toplam sinyalin faz spektrumu ise (4.10) bağıntısından görüldüğü gibi yalın sinyalin faz spektrumu ile modülasyon teriminin faz spektrumunun toplamından oluşmaktadır.

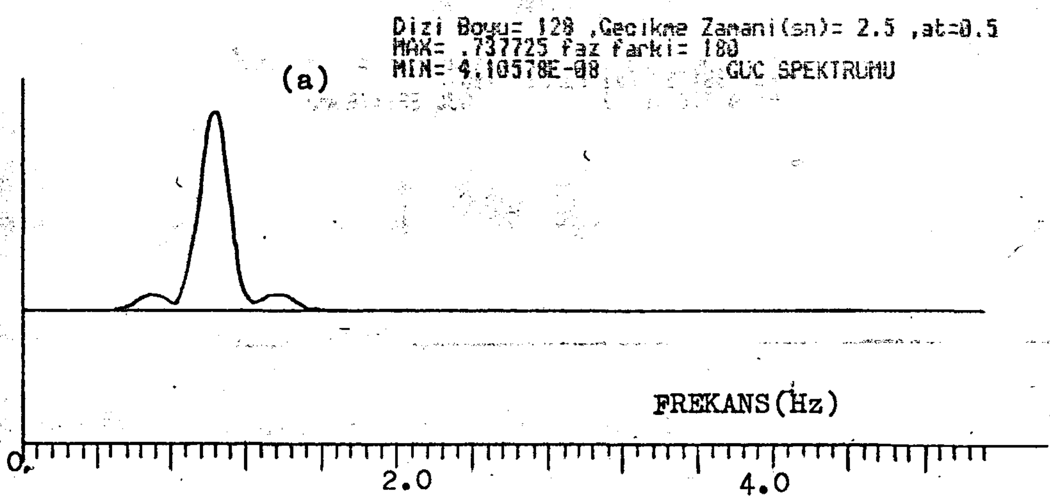
Bu bilgiler ışığı altında toplam sinyalin genlik ve faz spektrumunu yalın sinyalin ve modülasyon teriminin genlik ve faz spektrumlarından faydalanarak hesaplayabiliriz.Şekil-4.7' de atenüasyon katsayısı a=0.5, gecikme zamanı dT=2.5 sn ve faz farkı Ø=180° olan bir modelin genlik ve faz spektrumları görülmektedir. Şekil-4.8.a' da aynı model için yalın sinyalin genlik spektrumu, Şekil-4.8b'de modülasyon teriminin genlik spektrumu, Şekil-4.8c'de ise yalın sinyalin genlik spektrumu ile modülasyon teriminin genlik spektrumunun çarpılmasıyla elde edilen toplam sinyalin genlik spektrumu bulunmaktadır. Şekil-4.8b'deki modülasyon teriminin genlik spektrumu hesaplanırken şu yol izlenmiştir. Modülasyon terimi olan (4.5) ifadesi, gerçel kısmı "1-a cos w dT" ve sanal kısmı "a sin w dT" olan kompleks bir terimdir. Bu kompleks terimin mutlak değeri veya gerçel ve sanal kısımlarının karelerinin toplamının karekökü bize genlik spektrumu değerlerini verecektir. Modeldeki atenüasyon katsayısı (a=0.5) ve gecikme zamanı (dT=2.5 sn) değerleri gerçel ve sanal bileşen ifadelerinde yerine konularak birim frekans 1/256'ya (örnekleme aralığı dt=0.1sn) göre modülasyon teriminin genlik spektrumu hesaplanmıştır. Benzer çalışma modelin güç spektrumu için de yapılmıştır. Şekil-4.9'da toplam sinyalin güç spektrumu (Şekil-4.9a), yalın sinyalin güç spektrumu(Şekil 4.9b), Modülasyon teriminin güç spektrumu(Şekil 4.9c) ve bu iki spektrumun

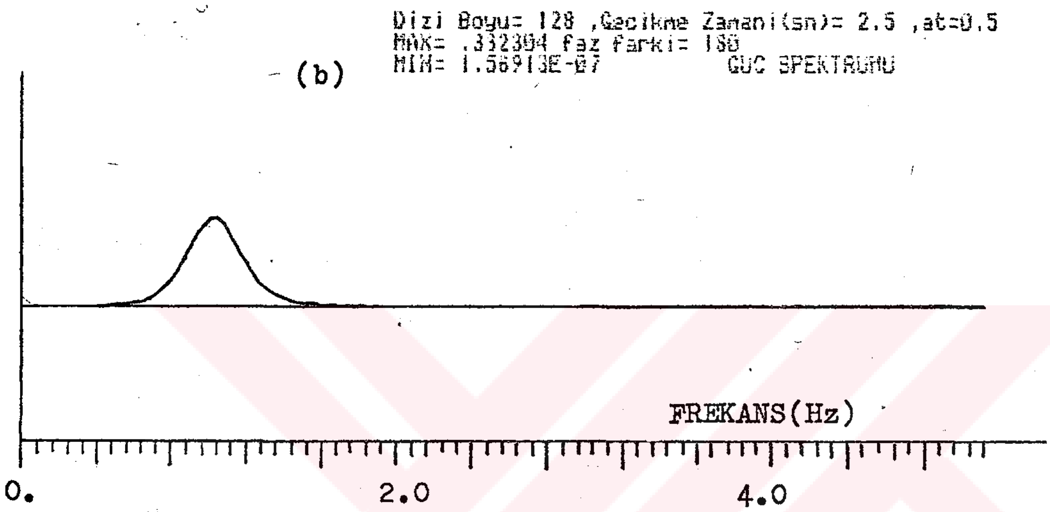


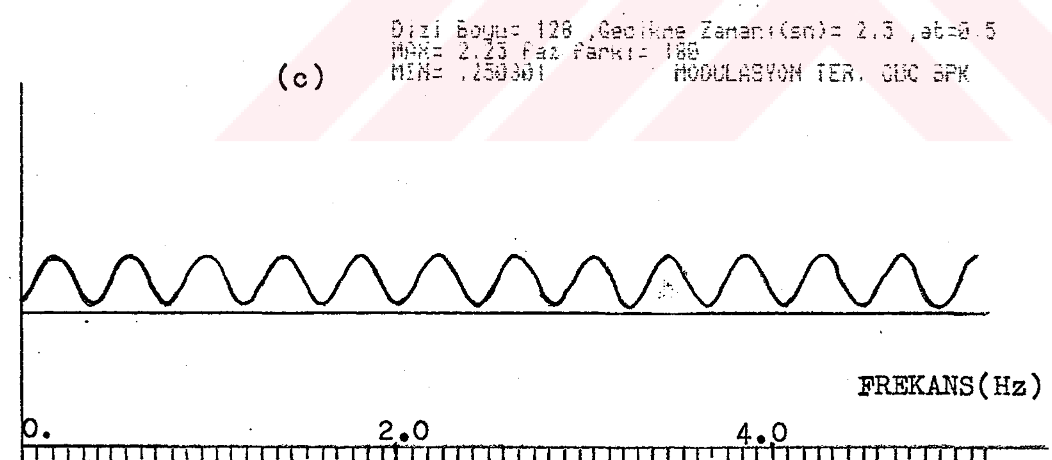
Şekil-4.7 dT=2.5sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyal modelinin spektral incelenmesi; (a) model, (b) genlik spektrumu, (c) faz spektrumu.

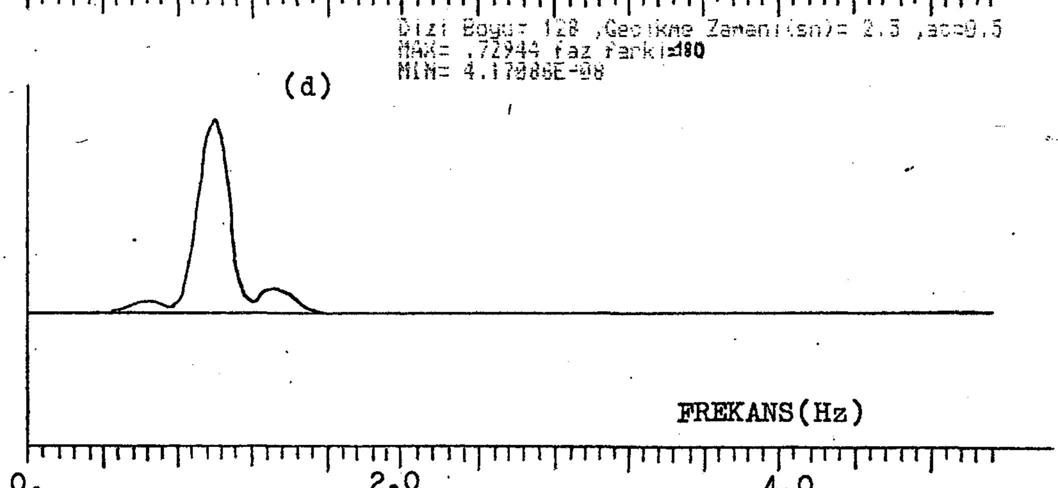


Şekil-4.8 Şekil-4.7'deki model için genlik modülasyonunun incelenmesi; (a) yalın sinyalin genlik spektrumu, (b) modülasyon teriminin genlik spektrumu, (c) kompozit sinyalin genlik spektrumu.









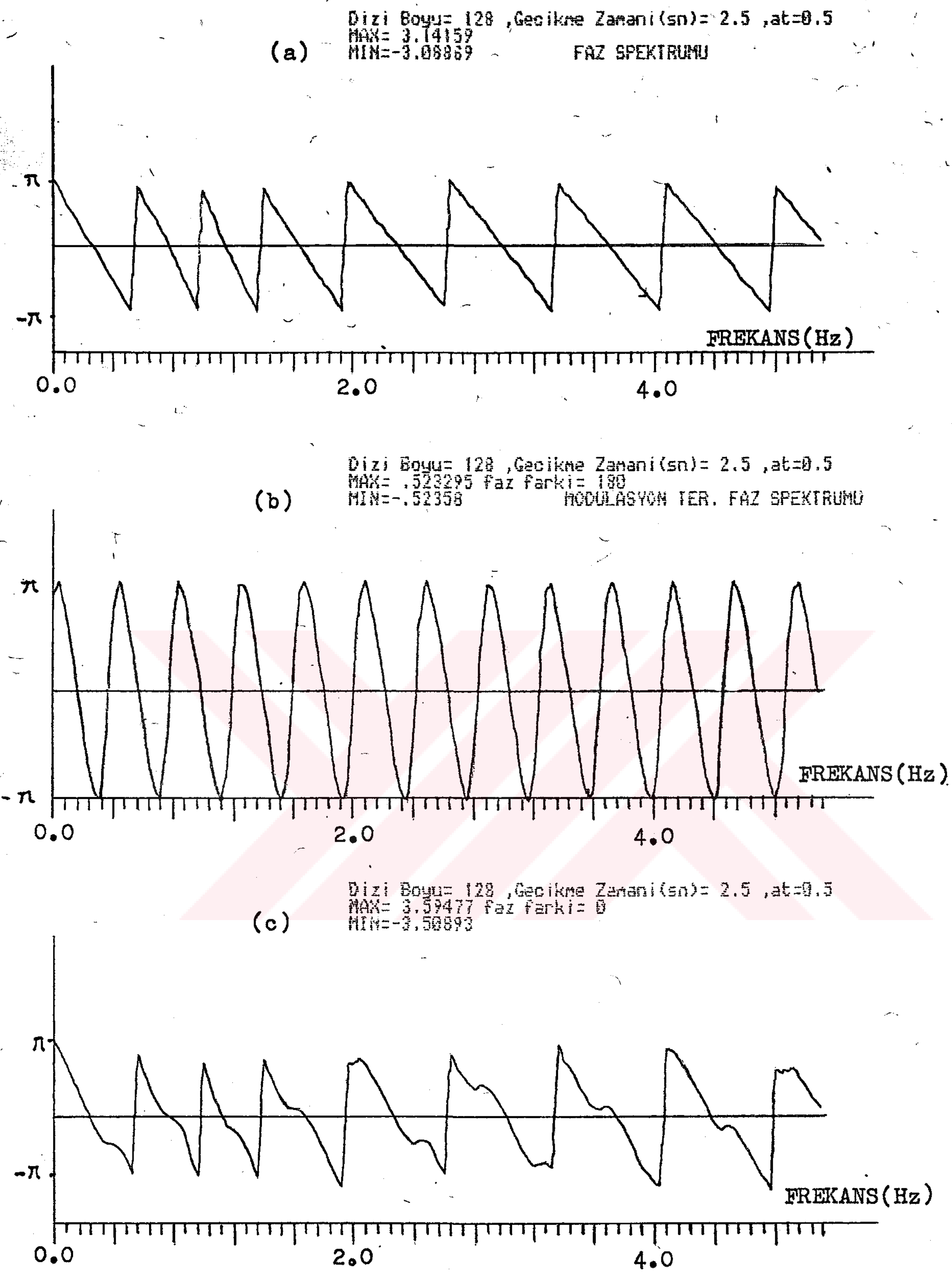
Şekil-4.9 Şekil-4.7'deki model için; (a) Kompozit sinyalin güç spektrumu, (b) yalın sinyalin güç spektrumu, (c) ... (d) [illegible] çarpılmasıyla elde edilen toplam sinyalin güç spektrumu (Şekil-4.9d) yer almaktadır. Şekil-4.9c'de görüldüğü gibi modülasyona 2a cos w dT terimi neden olmakta ve taşınan dalga gibi davranmaktadır. Bilindiği gibi genlik modülasyonunda taşıyıcı dalganın genliği bilgi işaretine bağlı olarak değişir ve modülasyonlu işaretin zarfı bilgi işaretini verir(Derin ve Aşkar,1979). Şekil-4.8c deki toplam sinyalin genlik spektrumunu incelenirse, zarfın Şekil-4.8a'daki yalın sinyalin genlik spektrumu olduğu görülür.

Girişime uğrayan iki sinyalin toplamından ibaret olan sinyal üzerindeki faz modülasyonunu incelemek için yine aynı model esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İlk önce yalın sinyalin faz spektrumu (Şekil-4.10a) hesaplanmış, daha sonra modülasyon teriminin faz spektrumu (4.7) ifadesine göre hesaplanarak (Şekil-4.10b) ve (4.10) ifadesine göre toplanarak toplam sinyalin modülasyona uğramış faz spektrumu (Şekil-4.10c) elde edilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi toplam sinyalin orjinal faz spektrumu (Şekil 4.7c) ile toplama ile elde edilen faz spektrumu (Şekil 4.10c) birbirinin aynısıdır ve modülasyona uğratan sinüzoidal salınımın etkisi spektrum üzerinde yer alan peryodik değişimlerle görülmektedir.

Şekil-4.8' deki modülasyon teriminin genlik ve güç spektrumlarına baktığımızda f=10 *df tekrarlanan maksimum ve minimumların (trough ve nulls) var olduğunu görürüz. Burada birim frekans df;

$$df = \frac{1}{N.\ dt} \qquad \begin{array}{l} N\text{:Örnek sayısı} \\ dt\text{:Örnekleme aralığı} \end{array} \qquad (4.11)$$

şeklindedir. Bu çalışmada N=256, dt=0.1sn dir. Bu değerleri yerine koyduğumuzda maksimum ve minimumlar arasındaki fark frekans olarak f=0.390625 Hz bulunur. Bu değerin tersi



Şekil-4.10 Şekil-4.7'deki model için faz modülasyonunun incelenmesi; (a) yalın sinyalin faz spektrumu, (b) modülasyon teriminin faz spektrumu, (c) kompozit sinyalin faz spektrumu.

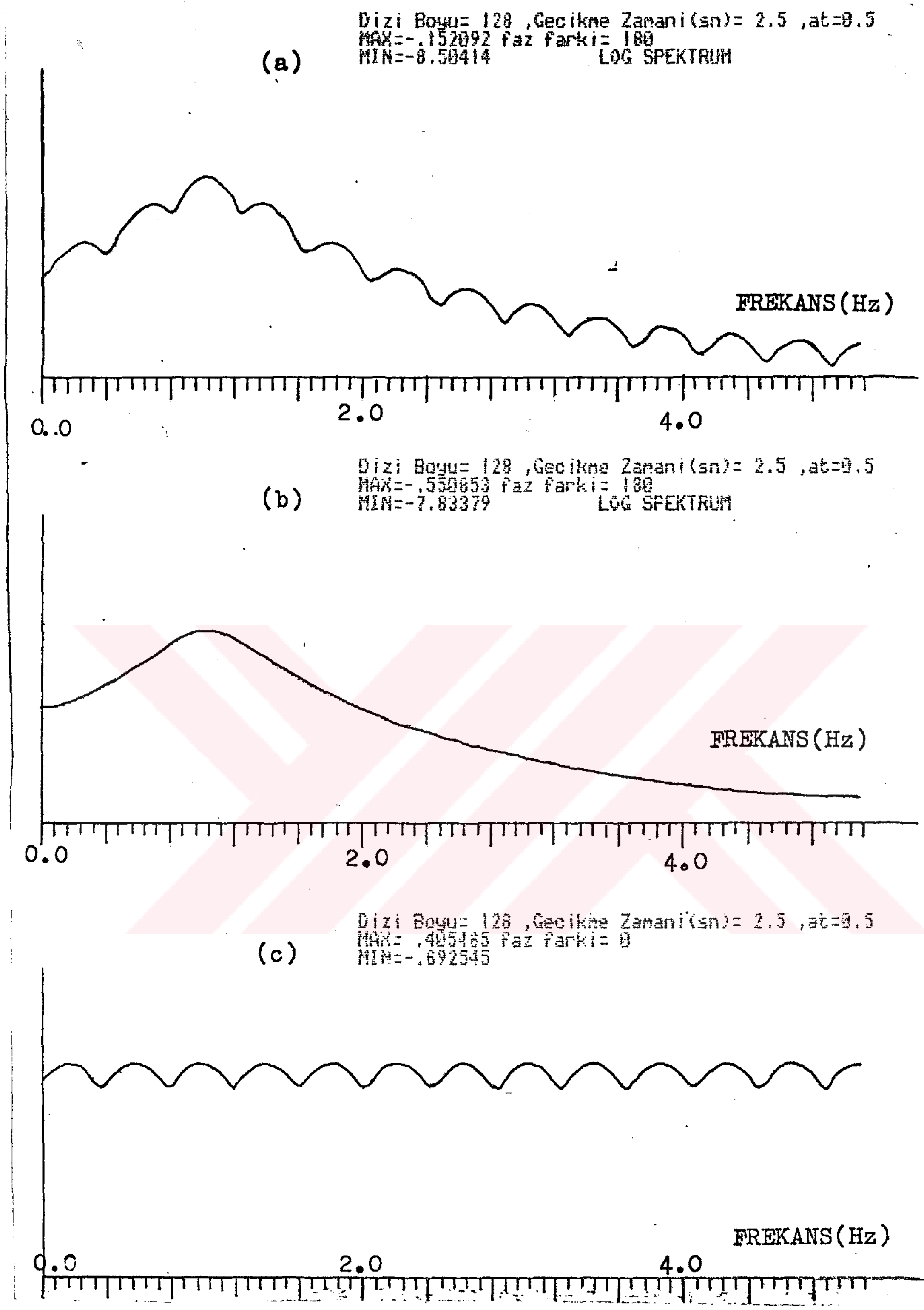
modeldeki gecikme zamanı (dT=2.5sn) verecektir. Benzer çalışma toplam sinyalin genlik ve güç spektrumları üzerinde de yapılabilir. Şekil-4.7b' deki genlik spektrumunu incelersek maksimum ve minimumlar arasındaki farkın birim frekans cinsinden f=10*df Hz olduğunu görürüz.

Frekans ortamında gecikme zamanının bulunmasında logaritmik genlik spektrumundan faydalanılabilir. (4.3) ifadesinde her iki tarafın logaritmasını alırsak

$$\log P(w) = \log S(w) + \log[1 - a.\exp(-iwdT)] \qquad (4.12)$$

elde edilir. Genlik spektrumunun logaritmasının alınması çarpım halindeki yalın sinyal ve modülasyon terimi spektrumlarını bir toplama işlemine dönüştürmüştür. Diğer bir deyişle modülasyon sebebiyle yalın sinyalin spektrumuna etki eden yankılar logaritmik işlem sonucu eklenen bir terim durumuna gelmiştir. Spektrumun logaritmasının alınmasının diğer bir özelliği spektrumda beyazlatma etkisi yapmasıdır. Dolayısıyla logaritmik işlem spektrumda zayıf bileşenlerin bağıl genlikliklerini arttırmaktadır (Flinn ve dig. 1973).

Şekil-4.7'da görülen model için logaritmik genlik spektrumu hesaplanmıştır (Şekil-4.11a). Modülasyon teriminin logaritmik işlem durumunda spektrum üzerindeki etkisini görmek için modülasyon teriminin ve yalın sinyalin logaritmik genlik spektrumları alındı (Şekil-4.11b,c). Daha önce açıklandığı gibi modelimizde pP fazını temsil eden sinyalin P fazını temsil eden ilk sinyale göre 180° faz farkı olması negatif bir kosinüsal modülasyon oluşturmaktadır (Şekil-4.11c) Modelimizde yalın sinyalin genlik spektrumu (Şekil-4.8a) ile logaritmik genlik spektrumu (Şekil-4.11b) incelendiğinde logaritma işleminin spektrum üzerindeki beyazlatma etkisi kolaylıkla görülebilir. Yalın sinyalin

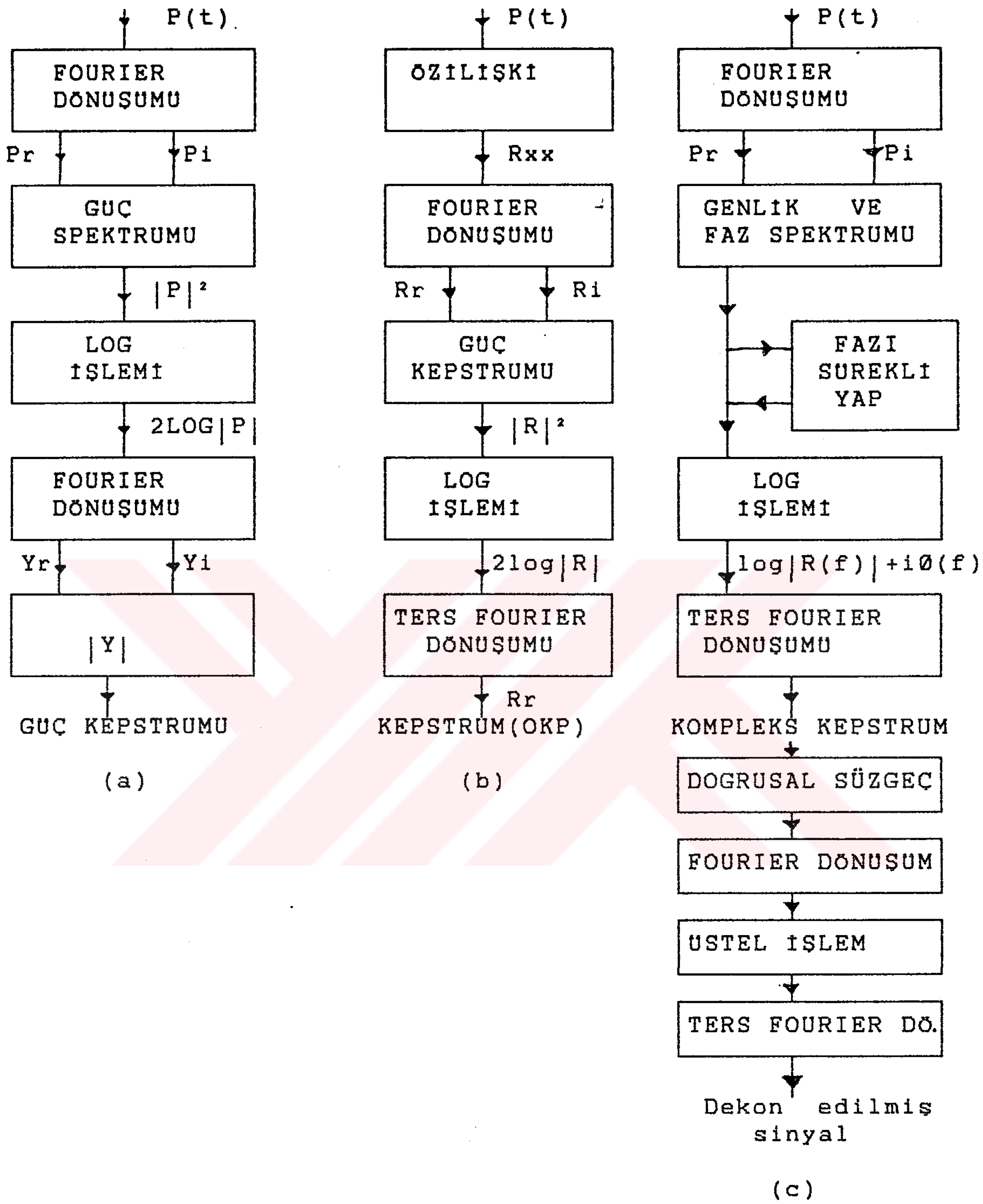


Şekil-4.11 Şekil-4.7'deki modelin (a) logaritmik genlik spektrumu, (b) modülasyon teriminin logaritmik genlik spektrumu, (c) yalın sinyalin logaritmik genlik spektrumu.

genlik spektrumunda enerji sınırlı bir frekans bandı içerisinde toplanmışken, logaritmik genlik spektrumunda ise enerji tüm spektrum boyunca dağılmıştır. Şekil üzerinde gözlenen diğer bir özellik; kosinüsal modülasyon sebebiyle oluşan salınımlarda minimumlar, logaritmik işlem sonucunda daha belirgin hale gelmişlerdir. Şekil-4.11a'daki logaritmik genlik spektrumu üzerinde bir sıfırlama analizi yaparsak minimumlar arasındaki farkın f=10*df olduğu görülür.

Gecikme zamanının bulunmasında inceliyeceğimiz diğer bir yöntem sinyalin kepstrumunun alınmasıdır. Burada klasik kepstrum ve kompleks kepstrum olmak üzere iki tür kepstrum hesaplanmaktadır. Klasik kepstrum hesabında ise iki değişik yöntem denenmiştir. İlki genlik spektrumunun karesinden bulunan güç spektrumu kullanılarak kepstrum hesaplanmıştır. Bu tür kepstrum hesaplanırken Kara ve Alptekin(1983) tarafından önerilen algoritma kulanılmıştır (Şekil-4.12a). Diğer klasik kepstrum türü ise özilişki fonksiyonunun kosinüs dönüşümünden bulunan güç spektrumu kullanılarak hesaplanan güç kepstrumudur (Şekil-4.12b).

Kompleks kepstrum hesabında uygulanan işlemler Şekil-4.12c de görülmektedir. Sinyalin Fourier dönüşümü alındıktan sonra Faz Spektrumunda sabit bileşen etkisi giderilmelidir. Çünkü sabit bileşen örnek sayısı katı kadar ($N\pi$) fazı etkilemektedir. Diğer taraftan faz eğrisinin $-\pi \leq w \leq \pi$ arasında sürekli, 2π periyodu ile tekrarlanan tek(odd) fonksiyon olması istenir. Ancak bu özellikler faz hesabında bazı belirsizliklerin ters tanjant fonksiyonunu çok değerli (multivalued) yapması nedeniyle her zaman sağlanamaz. Bunun sonucu faz eğrisinde bir takım süreksizlikler görülür. Ani değişmeler şeklinde görülen bu süreksizliklerin, fazın da işleme katıldığı durumlarda olumsuz etkileri olacaktır. Öte yandan faz eğrisinin doğrusal bileşeni kompleks kepstrumu



Şekil 4.12 Kepstrum hesaplanmasında kullanılan bilgisayar akış diyagramı. a) Genlik spektrumunun karesinden hesaplanan klasik güç kepstrumu diyagramı (Kara ve Alptekin,1983'ten uyarlanmıştır) b) Otokorelasyon fonksiyonunun kosinüs dönüşümünü kullanan kepstrum akış diyagramı c) Kompleks kepstrumu hesaplayan akış diyagramı (Kara ve Alptekin,1987'den uyarlanmıştır).

bastırarak bazı bilgilerin örtülmesine neden olur. Bu tür etkilerin önlenmesi için kompleks kepstrum hesaplanmadan önce faz eğrisi sürekli hale getirilip istenmeyen dogrusal bileşen kaldırılmalıdır (Kara,1986; Kara ve Alptekin,1987). Kepstral ortamdan zaman ortamına geri dönülürken uygun yerlerde dogrusal ve sabit faz bileşenleri tekrar eklenerek verilerdeki kayma önlenir.Bu çalışmada fazın sürekli hale getirilmesi işlemi iteratif yöntemle yapılmaktadır. Daha fazla bilgi için Shafer(1969) ve Kara(1986)'ya bakılabilir.

Kepstrumu hesaplanacak olan sinyalin karışık fazlı olması durumunda minimum fazlı bileşenler kompleks kepstrumda orjinin sağ tarafında, maksimum bileşenler ise sol tarafında yer alacaktır. Sinyalin kompleks kepstrumundaki etkilerini sadece sağ tarafta, diğer bir deyişle pozitif quefrencylerde görebilmek için sinyalin a^t şeklinde üstel bir fonksiyonla ağırlıklandırılması gerekir. Burada t; örnek sayısı t=0,1,2,...N ve a<1 dir. Yapılacak olan bu pozitif ağırlıklandırma aynı zamanda kepstrumdaki katlanmaları da (aliasing) azaltmış olur. Ağırlıklandırma işleminde "a" değerinin seçimi çok önemlidir. Kara(1986) "a" değeri için sinyalin örnek sayısı N'e bağlı olan standart bir formül önermiştir;

$$a=\exp(\mathrm{ALOG}(0.005)/N) \qquad (4.13)$$

Burada yapılan çalışmalarda veri boyu 256 olup ağırlıklandırmada kullanıcağımız a değeri a=0.979 olacaktır. Kompleks kepstrumdan zaman ortamına dönerken sinyal a^{-t} şeklinde negatif bir ağırlıklandırma yapılmalıdır.

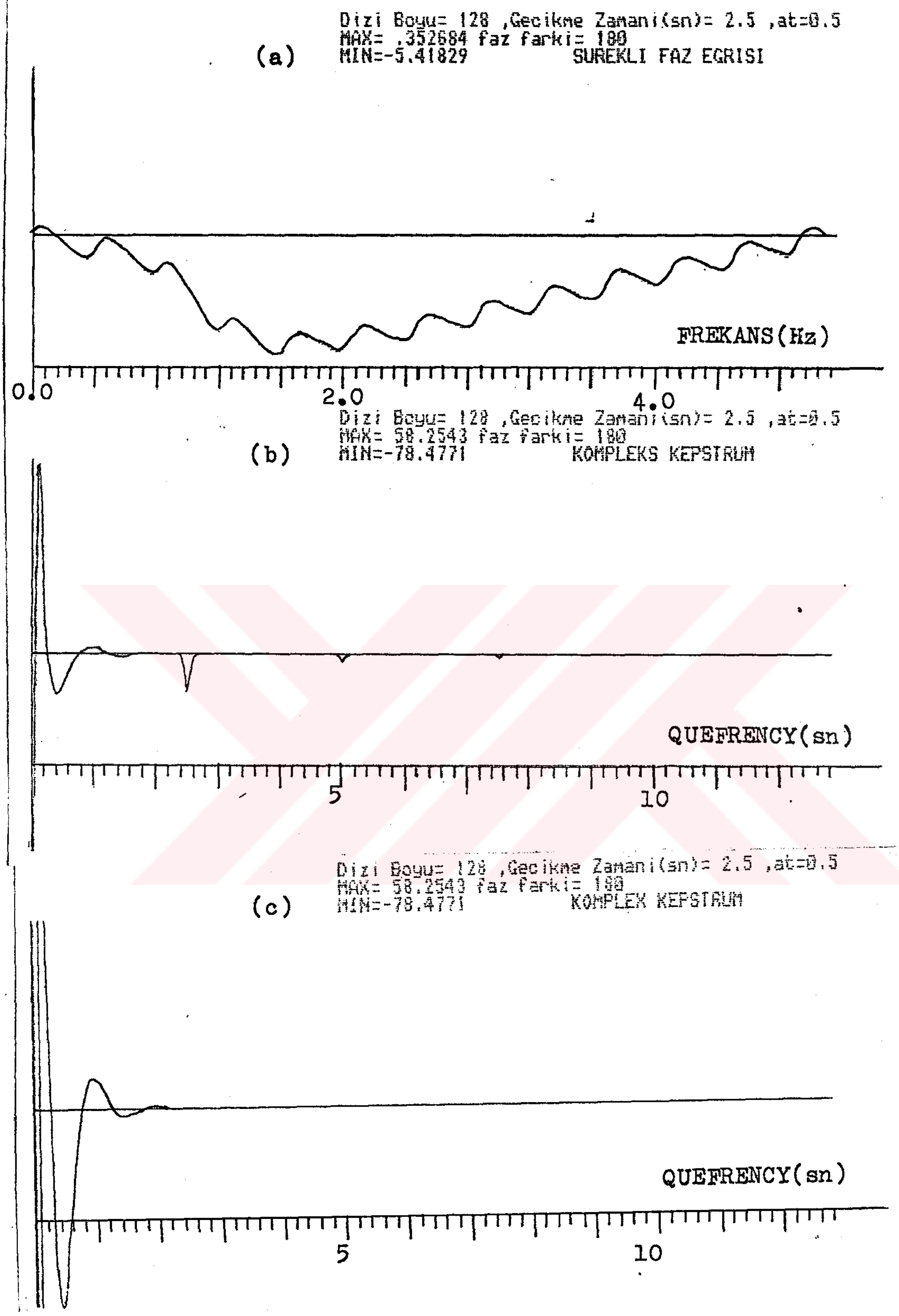
Dalga fazlarının girişiminden ibaret bir sinyalin kompleks kepstrumunda yalın sinyalin etkisi kepstral orijin etrafında yoğunlaşırken, diğer yankıların etkisi tüm quefrency'lerde saçılmaktadır. Bu özellikten yararlanarak quefrency ortamında yalın sinyal ve yankılardan herhangi birisinin etkisi uygun bir kepstral filtre ile çarpılıp zaman ortamına geri dönülerek ayıklanma yapılabilir.

Şekil-4.13'de atenüasyon katsayısı at= 0.5, gecikme zamanı dT=2.5 sn ve aralarında 180° faz farkı olan model için hesaplanan sürekli faz eğrisi (Şekil-4.13a), kompleks kepstrumu (Şekil-4.13b) görülmektedir. Şekil- 4.13c'de ise sadece yalın sinyal için hesaplanan kompleks kepstrum görülmektedir. Şekillerden görüleceği gibi yalın sinyalin etkisi kepstral orijin etrafında yoğunlaşmakta, yankıların etkisi ise geçikme zamanı dt=2.5 sn den itibaren tüm quefrencyler yayılmıştır.

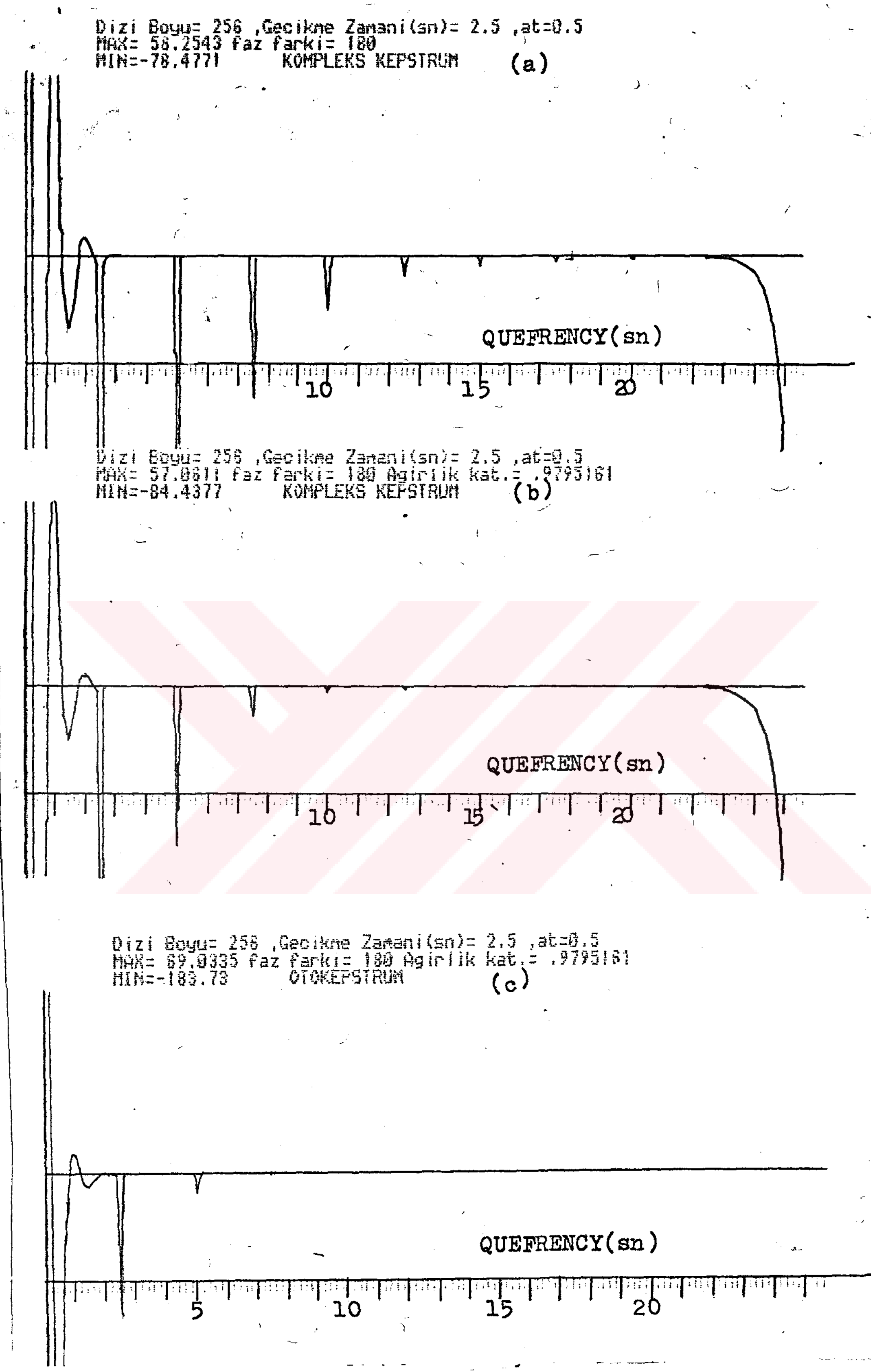
Şekil-4.14a'da ise aynı modelin kompleks kepstrumunun pozitif ve negatif kısmı görülmektedir. Burada yankıları daha iyi görebilmek için genlik değerleri 100 ile çarpılmıştır. Sinyale herhangi bir ağırlıklandırma yapılmadığı için kompleks kepstrumunun negatif ve pozitif kısımlarında da yankılar görülmektedir. Şekil 4.14b'de ise sinyale uygulanan bir pozitif ağırlıklandırmadan sonra hesaplanan kompleks kepstrumu görülmektedir. Bu kez negatif quefrency'lerde yankıların etkisi kaybolmuş, dolayısıyla sinyalimiz pozitif ağırlıklandırma sonucu minimum fazlı hale gelmiştir.

Şekillerde yankılardan gelen etkiyi daha iyi vurgulamak amacıyla genlikler büyültülerek çizilmiştir. Bu çalışmada esas amacımız gecikme zamanını bulmak olduğuna göre genlik değerleri relatif olarak değerlendirilmektedir.

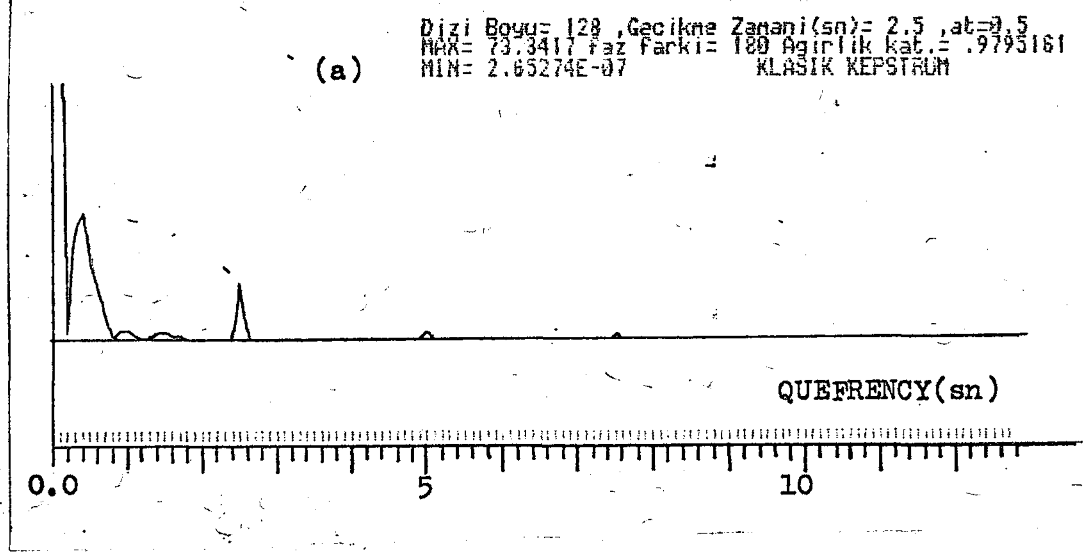
Şekil-4.14c'de aynı modelin özilişki fonksiyonundan yararlanarak hesaplanan kepstrumu, Şekil-4.15a'da klasik kepstrumu yeralmaktadır. Her iki şekilden görüldüğü gibi gecikme zamanına karşılık gelen yerlerde yankılara ait pikler

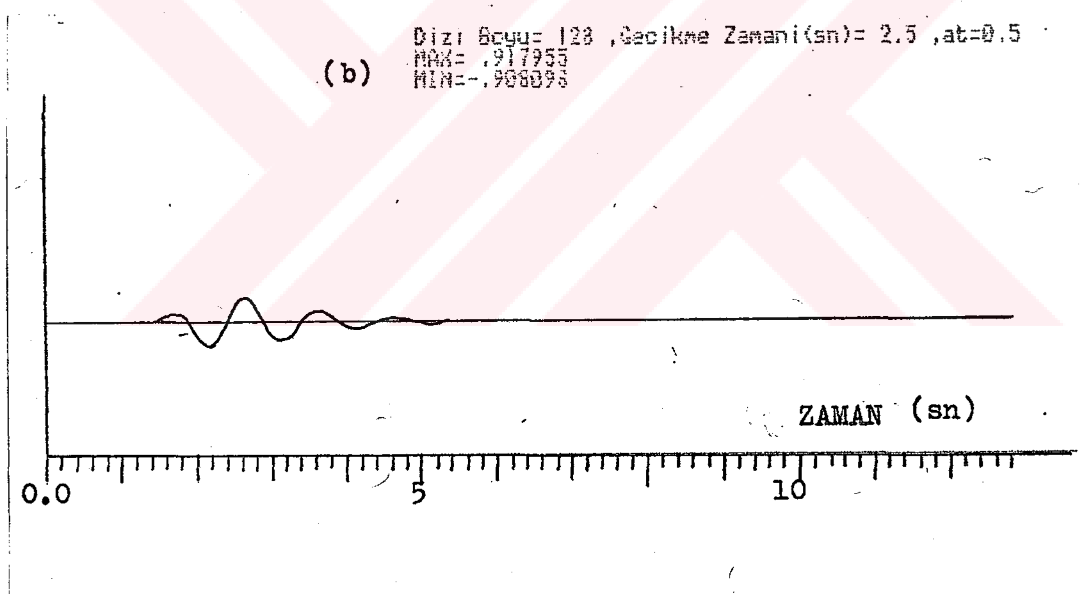


Şekil-4.13 Atenüasyon katsayısı at=0.5, gecikme zamanı dT=2.5sn ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyal modelinin (a) sürekli faz eğrisi, (b) kompleks kepstrumu, (c) yalın sinyalin kompleks kepstrumu.



Şekil-4.14 Şekil-4.13'teki modelin; (a) kompleks kepstrum, (b) ağırlıklandırılmış kompleks kepstrumu, (c) öziliskisinden hesaplanan kompleks kepstrumu.

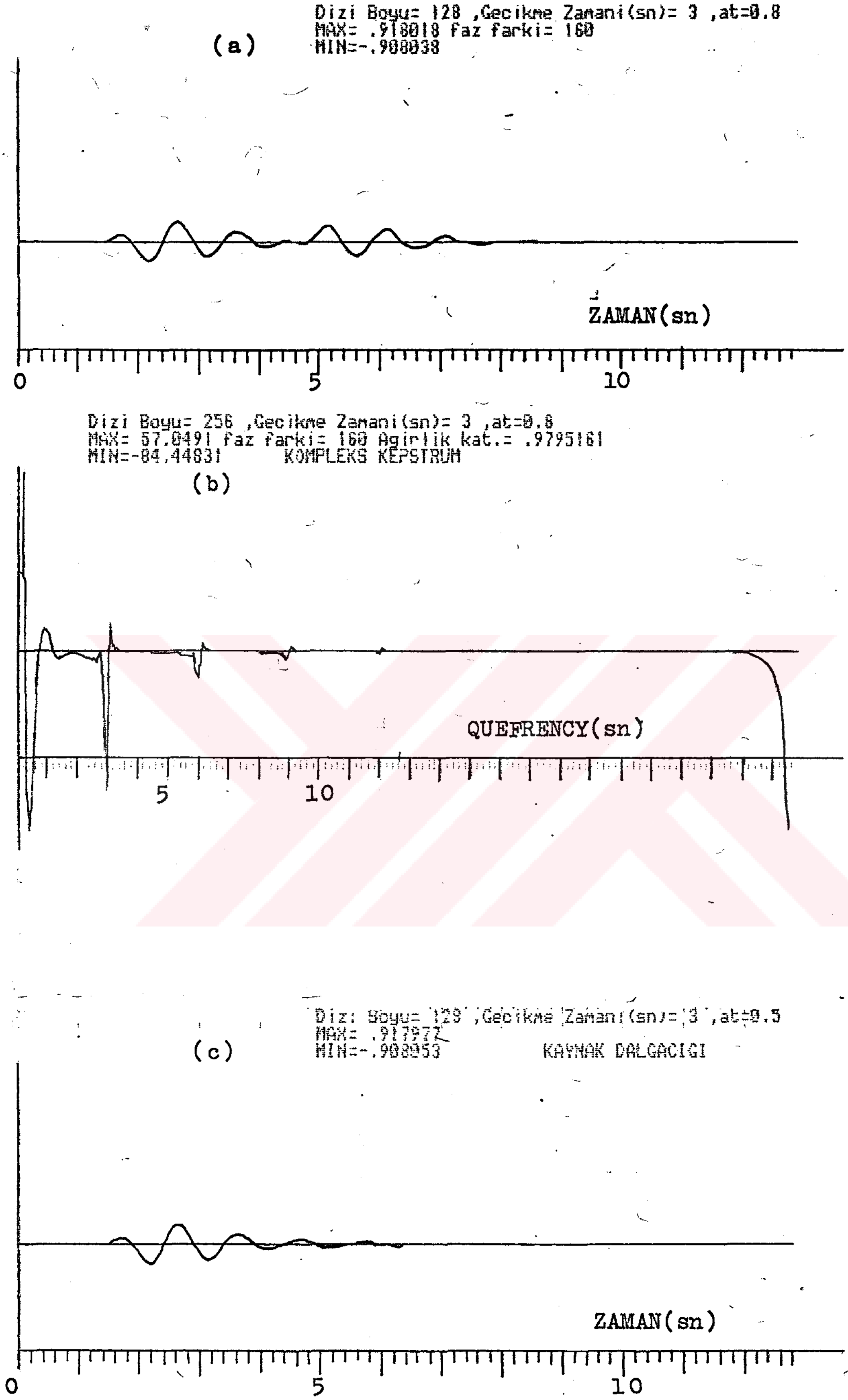




Şekil-4.15 Şekil-4.13'teki modelin (a) klasik yöntemle hesaplanan güç kepstrumu, (b) tarak filtre uygulanması sonucu elde edilen yalın sinyali.

bulunmaktadır. Aynı model üzerinde yapılan diğer bir çalışma ilk yalın sinyali bulmak amacıyla yapılan homomorfik dekonvolüsyondur. Şekil-4.12c'de ki akış diyagramı izlenerek bu çalışma gerçekleşmiştir. İlk önce sinyalin kompleks kepstrumunda tarak (comb) filtre uygulanarak yankıların etkileri süzülüp kepstrumda sadece ilk yalın sinyalin etkisinin kalmasına müsade edilmiştir. Buradan zaman ortamına geri dönülerek ilk yalın sinyal, yani P fazı elde edilmiştir (Şekil-4.15b). Tarak filtreleme işlemi ise basitçe kepstrum ortamında gecikme zamanlarına karşılık gelen yerlerde piklerin yerine etrafındaki değerlerle yapılan bir enterpolasyonla elde edilen değerin yerleştirilmesi ile yapılmıştır.

Şekil-4.16a'da oluşturduğumuz modelde pP fazının P fazına göre 160° faz farkı olduğu, dT= 3.0 sn gecikme zamanlı ve at=0.8 atenüasyon katsayısına sahip olduğu model üzerinde değişik faz farkı durumunda kepstrumdaki yankıların ne gibi değişiklere uğradığı incelenmektedir. Kompleks kepstrumu hesaplanmadan önce veri a=0.979516 alınarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Kepstrumda yankıların etkilerini incelersek gecikme zamanı ve katlarına karşılık gelen yerlerde pik vermekle beraber civarlarında da bazı distorsiyonlar görülmektedir (Şekil-4.16b). Bu distorsiyona sebep, dalga fazları arasındaki mevcut olan faz farkıdır. Bu durumda yukarda yapılan işlemle kepstrum ortamında tarak filtreleme işlemini uygulayıp P fazını elde etmek olanaklı gibi görülmemektedir. Bundan dolayı P fazını elde etmek için kepstrum ortamında bant geçişli bir filtre uygulanmıştır. Bu filtreleme işlemi basitçe dT=3.0 sn'den başlamak üzere diğer quefrency'lere karşılık gelen kepstrum değerleri sıfırlanarak yapılmıştır. Böylece kepstrumda sedece P fazının etkisi kalmıştır. Daha sonra zaman artamına dönülerek ilk yalın sinyal elde edilmiştir. Şekil-4.16c'de bu işlemler sonucunda



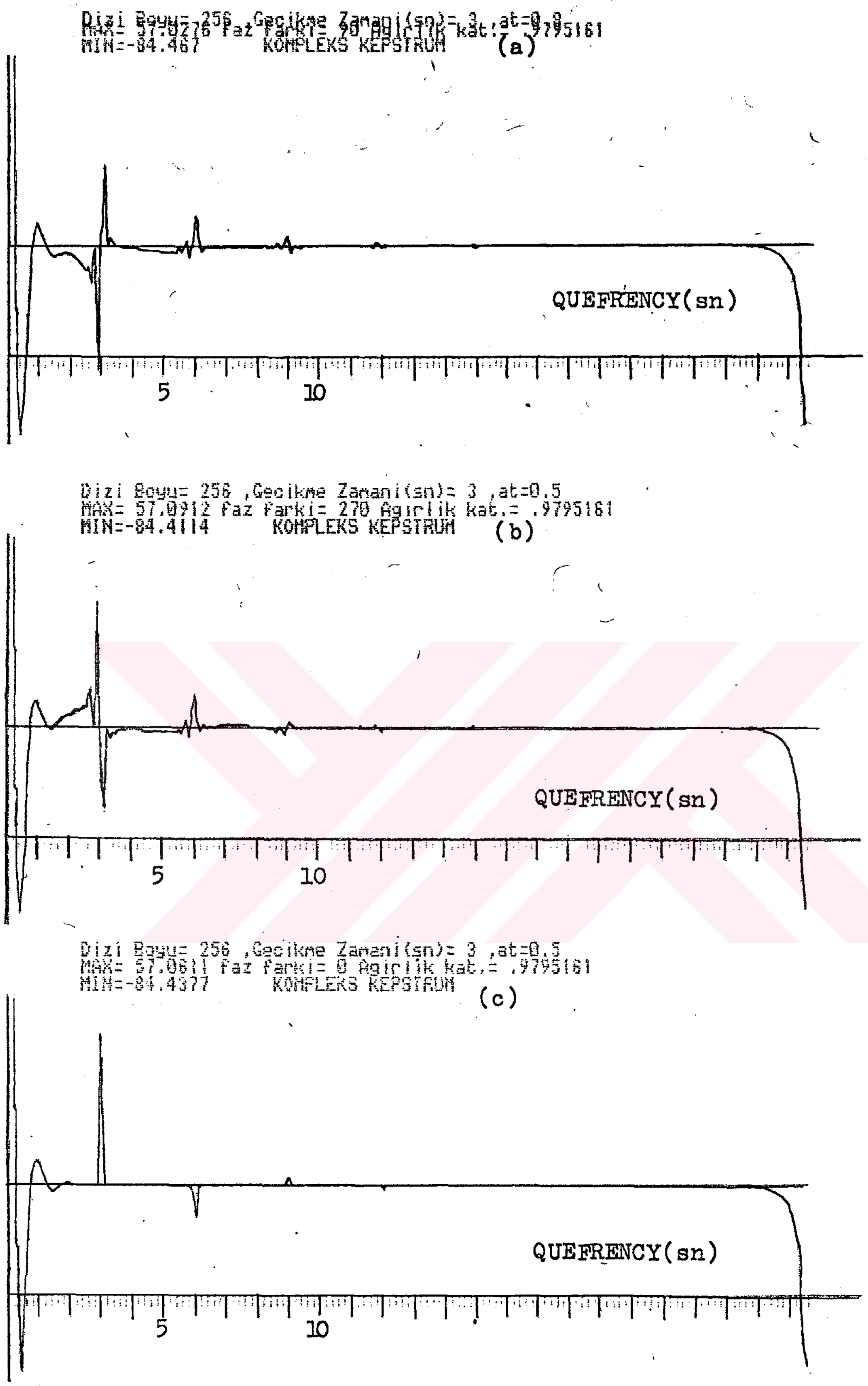
Şekil-4.16 Atenüasyon katsayısı at=0.8, gecikme zamanı dT=3sn ve aralarında Ø=160° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin; (a) modeli, (b) ağırlıklandırılmış kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyal.

elde edilen P fazı görülmektedir. Dalgacığın sonuna doğru bir takım etkiler eklenerek boyunu uzatmıştır.

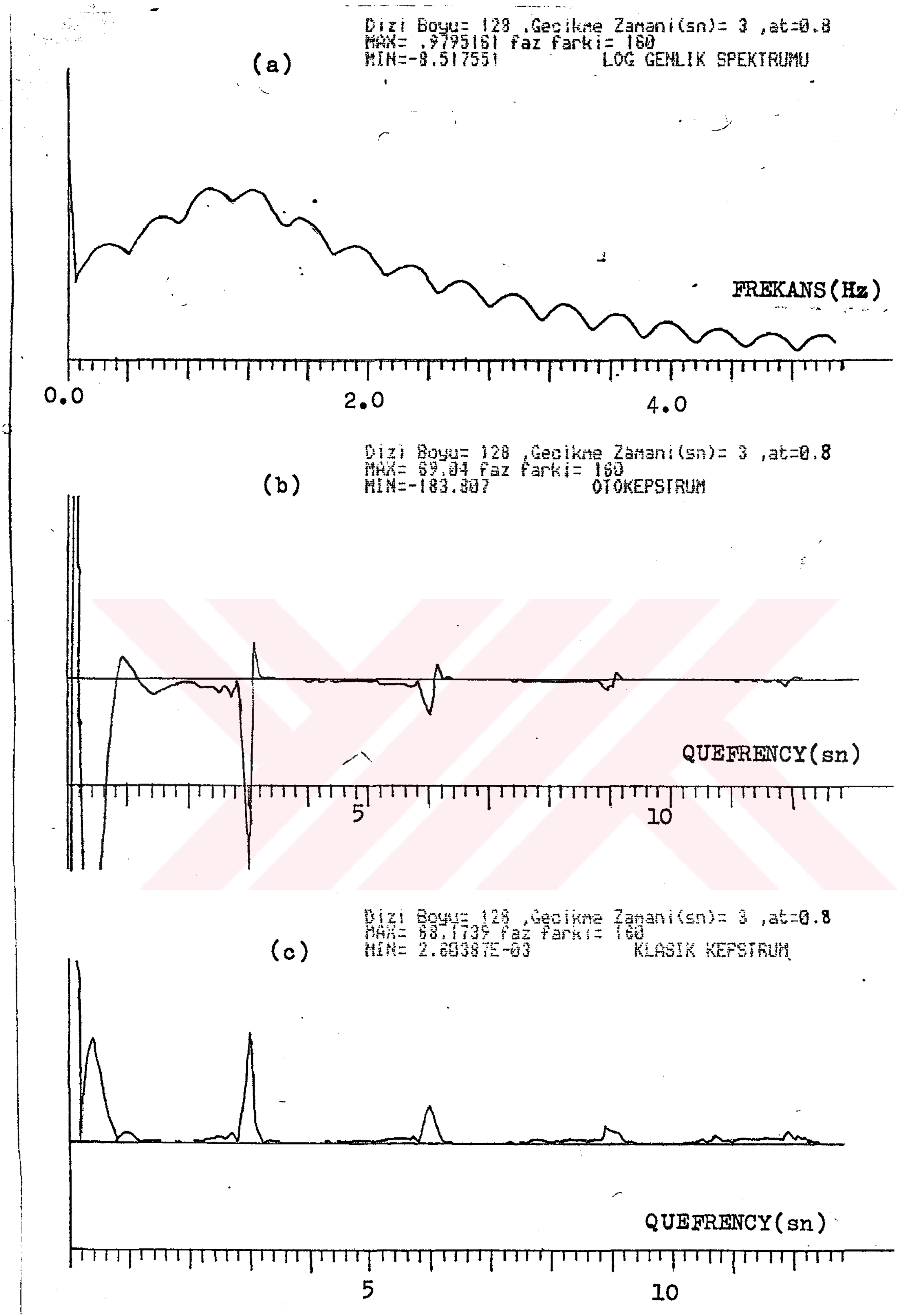
Yukarıda kullandığımız Berlage modelindeki faz farkının kompleks kepstrum etkisini daha iyi anlamak için değişik faz farkı değerleri verilerek oluşturulan modellerin kompleks kepstrumları hesaplanmıştır. Şekil-4.17'de 90°, 270° faz farkı değerleri için hesaplanan kompleks kepstrumları, Şekil-4.17c'de ise faz farkının olmadığı durumda hesaplanan kepstrum görülmektedir. Şekiller incelendiğinde faz farkının aynı fazlı (in phase) ve faz dışı (out of phase) durumları (0°,180°) dışında değerler aldığı modellerin kepstrumda yankılara karşılık gelen piklerin çevresinde distorsiyonlar görülmektedir. Bu duruma örnek olarak Şekil-4.17' yi inceleyip şu yoruma gitmek mümkündür; P ve pP fazlarının girişiminden ibaret bir sinyalin kompleks kepstrumuna bakarak aralarındaki faz farkı olup olmadığı konusunda ve hatta faz farkının türü hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Eğer gecikme zamanlarına karşılık gelen yerlerde yerleşen piklerin etrafında bir distorsiyon varsa iki dalga arasındaki faz farkı "karışık fazlıdır" denilebilir.

Şekil-4.18'de ise aynı modelin Ø=160° faz farkı durumunda hesaplanan logaritmik genlik spektrumu, özilişki fonksiyonundan hesaplanan güç kepstrumu ve klasik kepstrumu görülmektedir (Şekil-4.18 a,b,c). Güç ve klasik kepstrumlarına baktığımızda gecikme zamanı ve katlarına karşılık gelen piklerin çevresinde distorsiyon olduğu görülmektedir.

Bundan sonraki çalışma, farklı gecikme zamanları ve atenüasyon katsayıları için oluşturulan Berlage modellerinde yukarıda yaptığımız analiz tekniklerini uygulayarak gecikme zamanını ne derece belirliyebileceğimizi bulmaktır. Şekil-19,



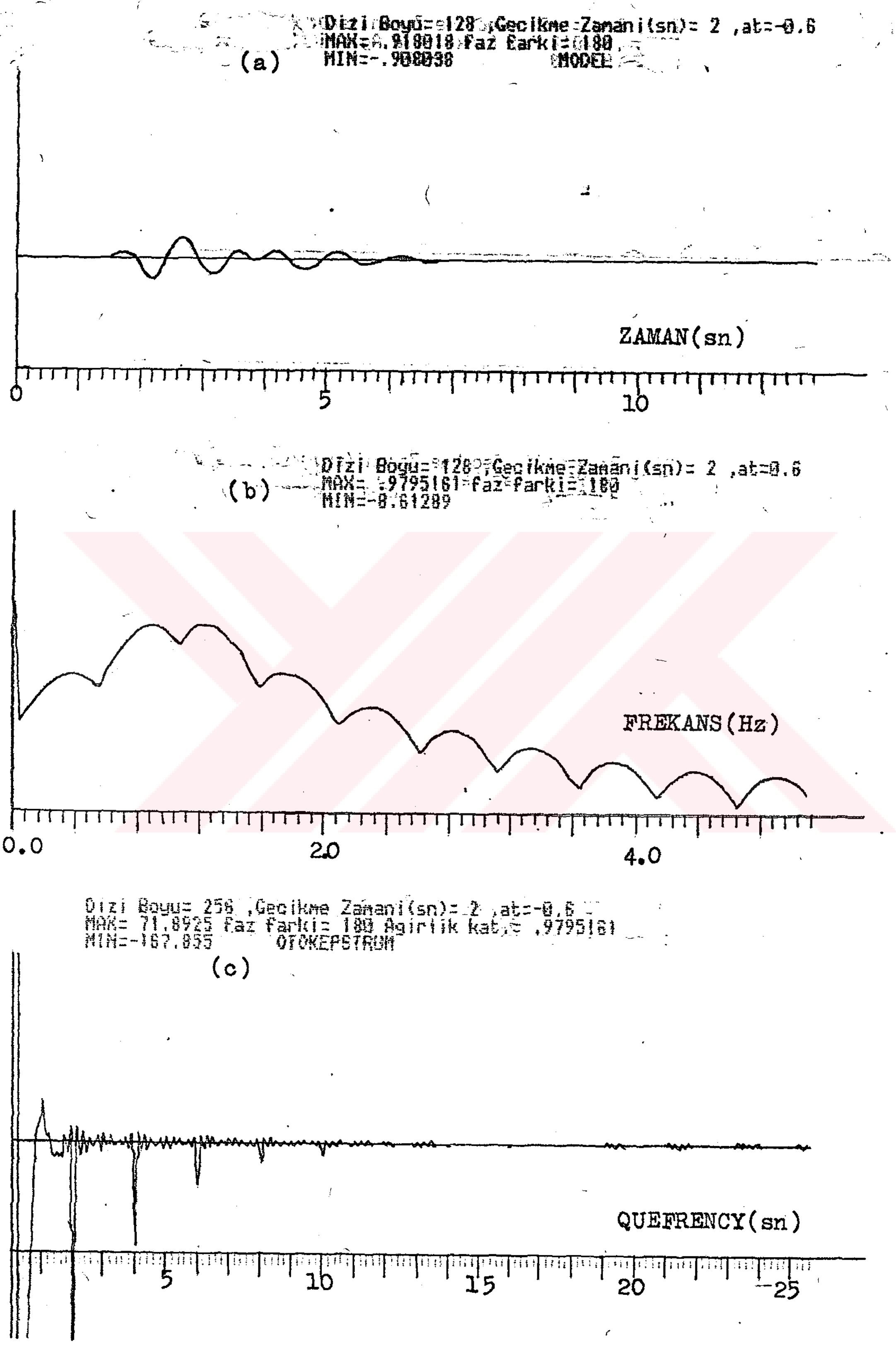
Şekil-4.17 Değişik faz farklarına sahip girişmiş iki sinyalin kompleks kepstrumları; (a) Ø=90°, dT=3sn ve at=0.8 için (b) Ø=270°, dT=3sn ve at=0.5 (c) Ø=0°,dT=3sn ve at=0.5.



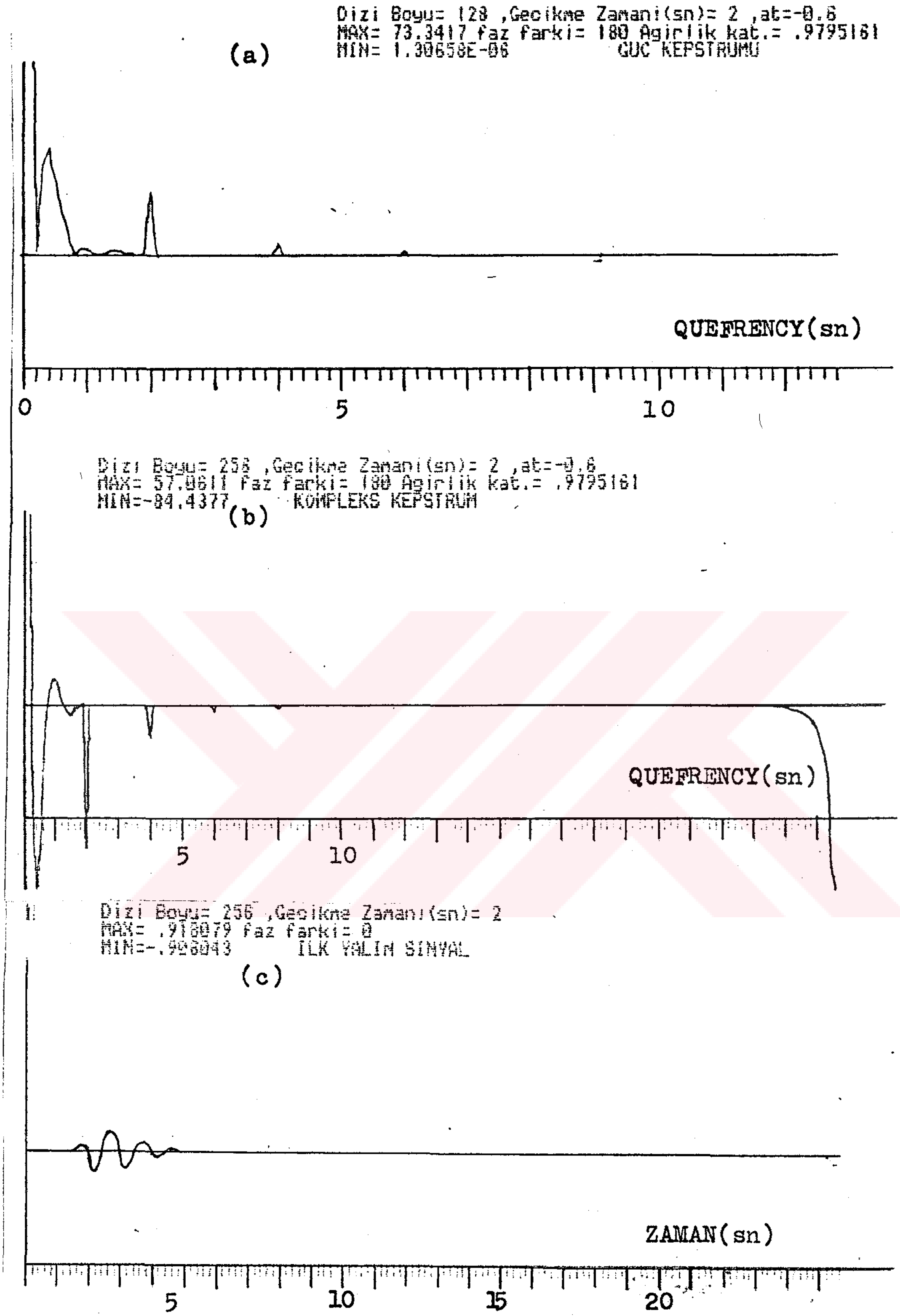
Şekil-4.18 Atenüasyon katsayısı at=0.8, gecikme zamanı dT=3sn ve aralarında Ø=160° faz farkı olan girişmiş iki sinyal için (a)logaritmik genlik spektrumu,(b) özilişkisinden hesaplanan kepstrumu, (c) güç kepstrumu.

20'de gecikme zamanı dT=2.0sn ve atenüasyon katsayısı at=0.6 için, Şekil-21,22'de gecikme zamanı dT=1.5sn, at=0.4 için, Şekil-23,24'de gecikme zamanı dT=1.0sn, at=0.3 için, Şekil-25,26'da dT=0.8sn ve at=0.6 için, Şekil-27,28'de dT=0.6sn ve at=0.5 için, Şekil-29,30'da dT=0.3sn ve at=0.6 için, Şekil-31,32'de ise dT=0.2sn ve at=0.6 için oluşturulan modelleri, üzerinde yapılan spektral analiz çalışmalarını ve elde edilen dalgacıklar görülmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi tüm gecikme zamanları, hesaplanan kepstrumlarda tam olarak belirlenmektedir. Diğer bir deyişle, tüm geçikme zamanları için oluşturulan modellerin kepstrumunda gecikme zamanlarına ait yerde pik görebilmekteyiz. Buradaki tüm modellerde iki sinyal arasında 180° faz farkı olduğundan zikredilen pik negatif genlik değeri taşımaktadır. Modellerin logaritmik güç spektrumunda ise gecikme zamanı küçüldükçe spektral minimumlar arasındaki fark büyümekte, özellikle çok küçük gecikme zamanı değerleri (dT=0.3,0.2sn gibi) için spektral minimumları belirlemek zorlaşmaktadır.

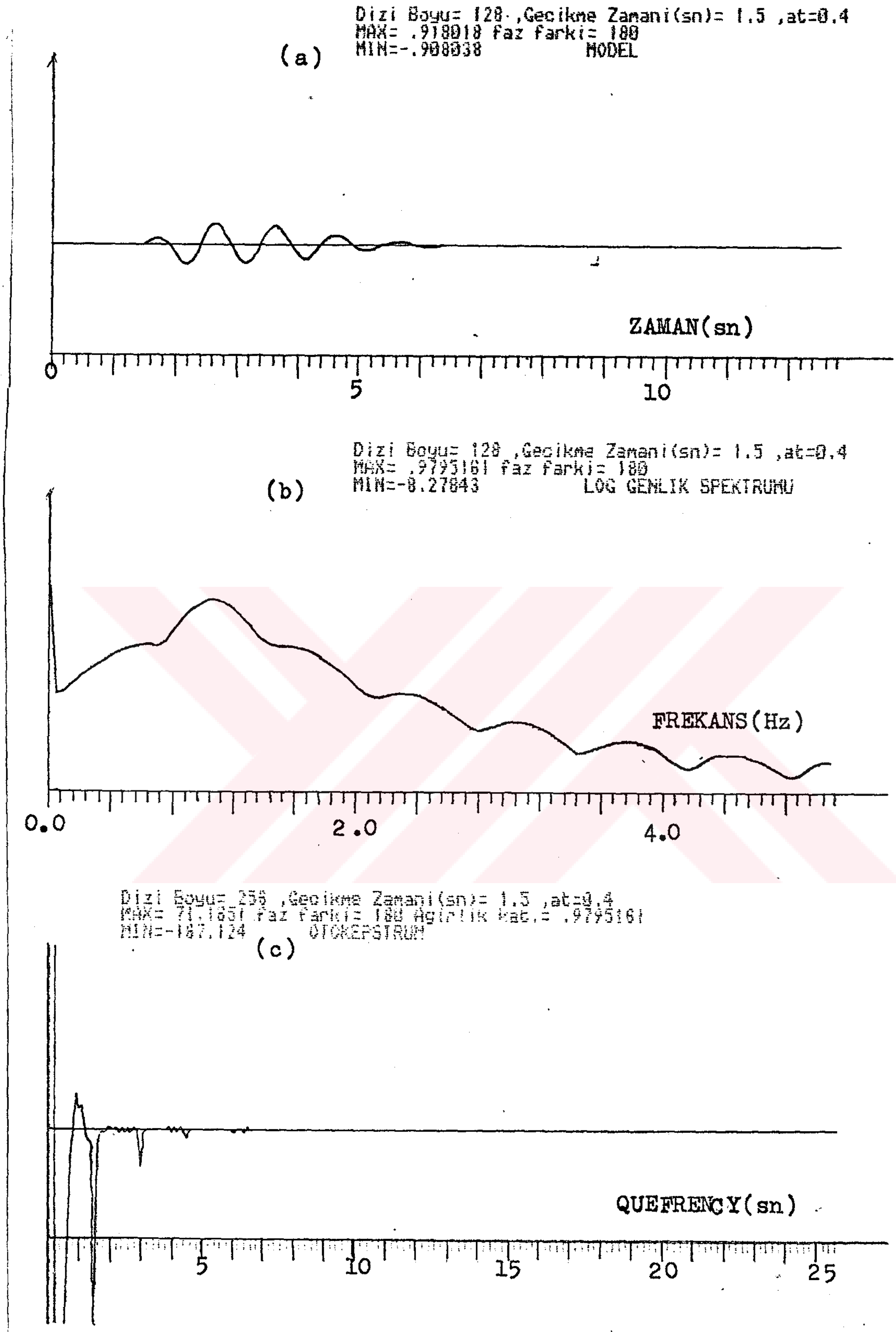
Diğer bir çalışma, üç sinyalin girişiminden oluşan model üzerindeki gecikme zamanlarını belirlemektir. Bu amaçla oluşturulan modelde birinci sinyal yalın sinyale göre dT=1.5sn gecikmeli ve at=0.6 atenüasyon katsayısına sahip olup 180° faz farklıdır. Diğeri ise yalın sinyale göre dT=3.5 sn gecikmeli ve at=0.5 atenüasyon katsayısına sahip 180° faz farklıdır. Girişim olayına katılan son iki sinyal arasında birbirine göre olan gecikme zamanı dT=2.0sn dir. Şekil-4.33'de model, logaritmik genlik spektrumu, güç kepstrumu ve kompleks kepstrumu görülmektedir. Modelin logaritmik genlik spektrumunda minimumlar arasındaki farktan bulunan gecikme zamanı dT=1.6sn dir. Demek ki logaritmik genlik spektrumundaki spektral minimumların belli bir peryodla tekrarlanmasına ilk sinyalin yalın sinyale göre olan gecikme zamanı neden olmaktadır.



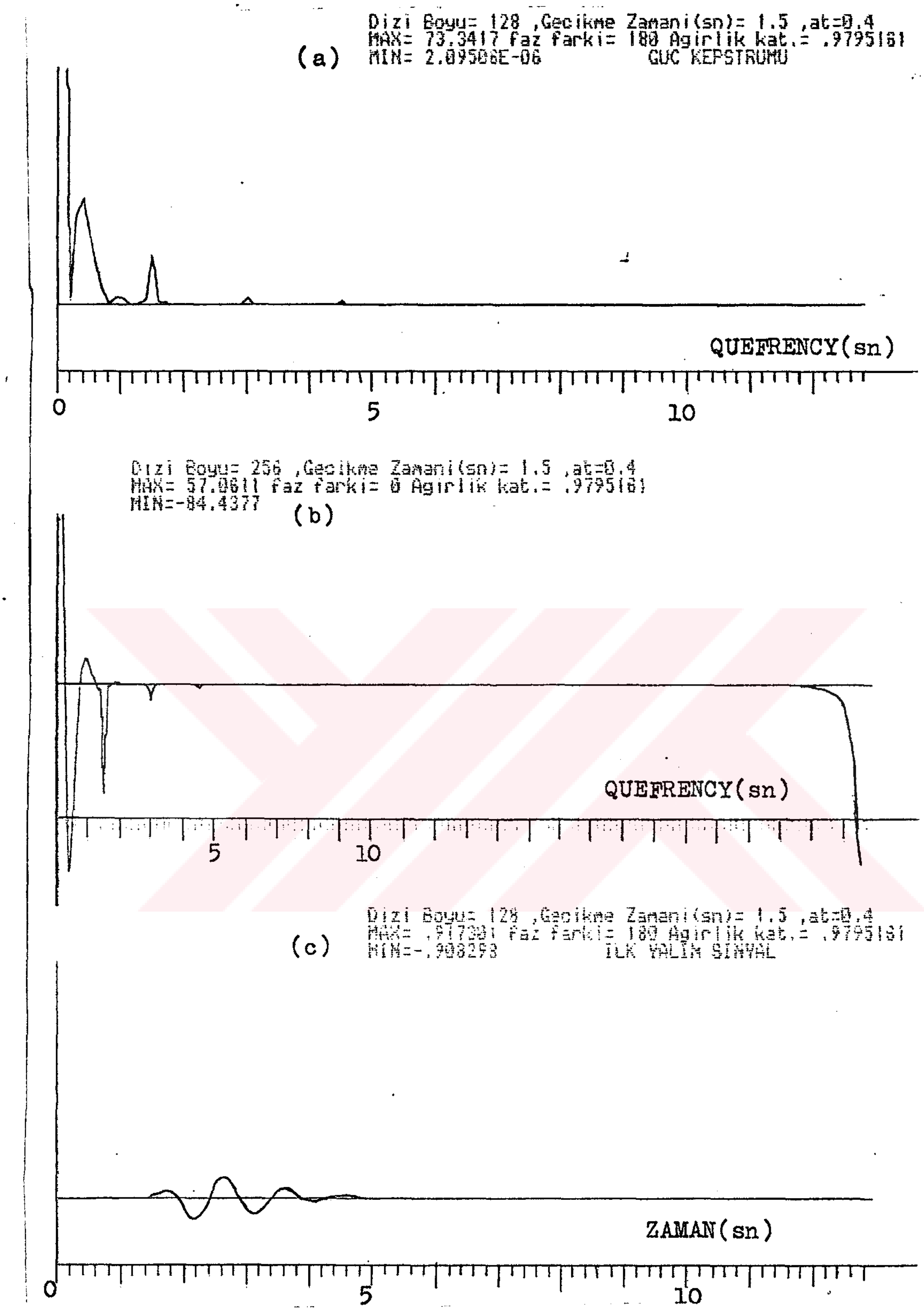
Şekil-4.19 Atenüasyon katsayısı at=0.6, dT=2sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin (a)modeli, (b) logaritmik genlik spektrumu,(c) öziliskisinden hesaplanan kepstrumu.



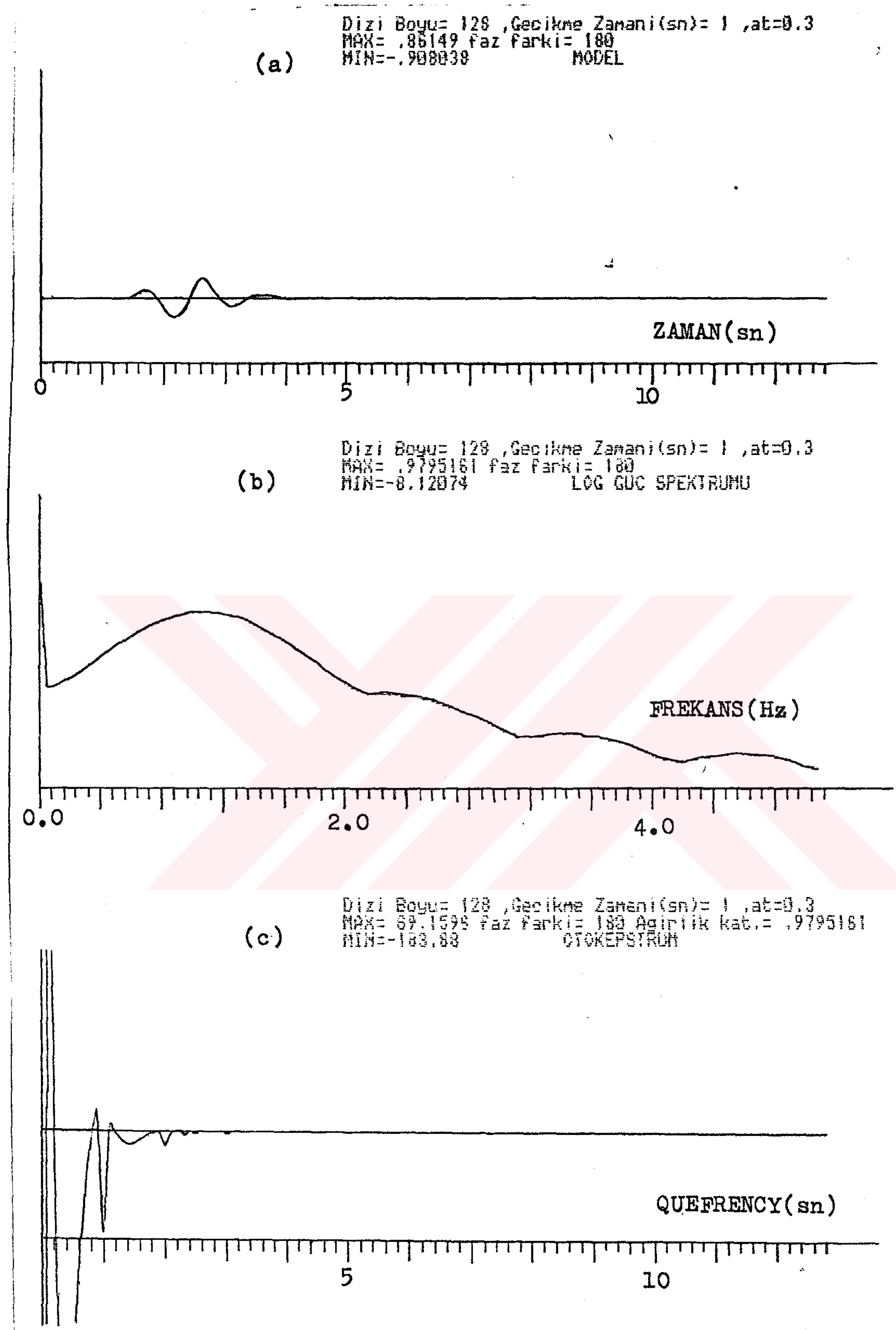
Şekil-2.20 Şekil-4.19'daki modelin (a) güç kepstrumu, (b)kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyali.



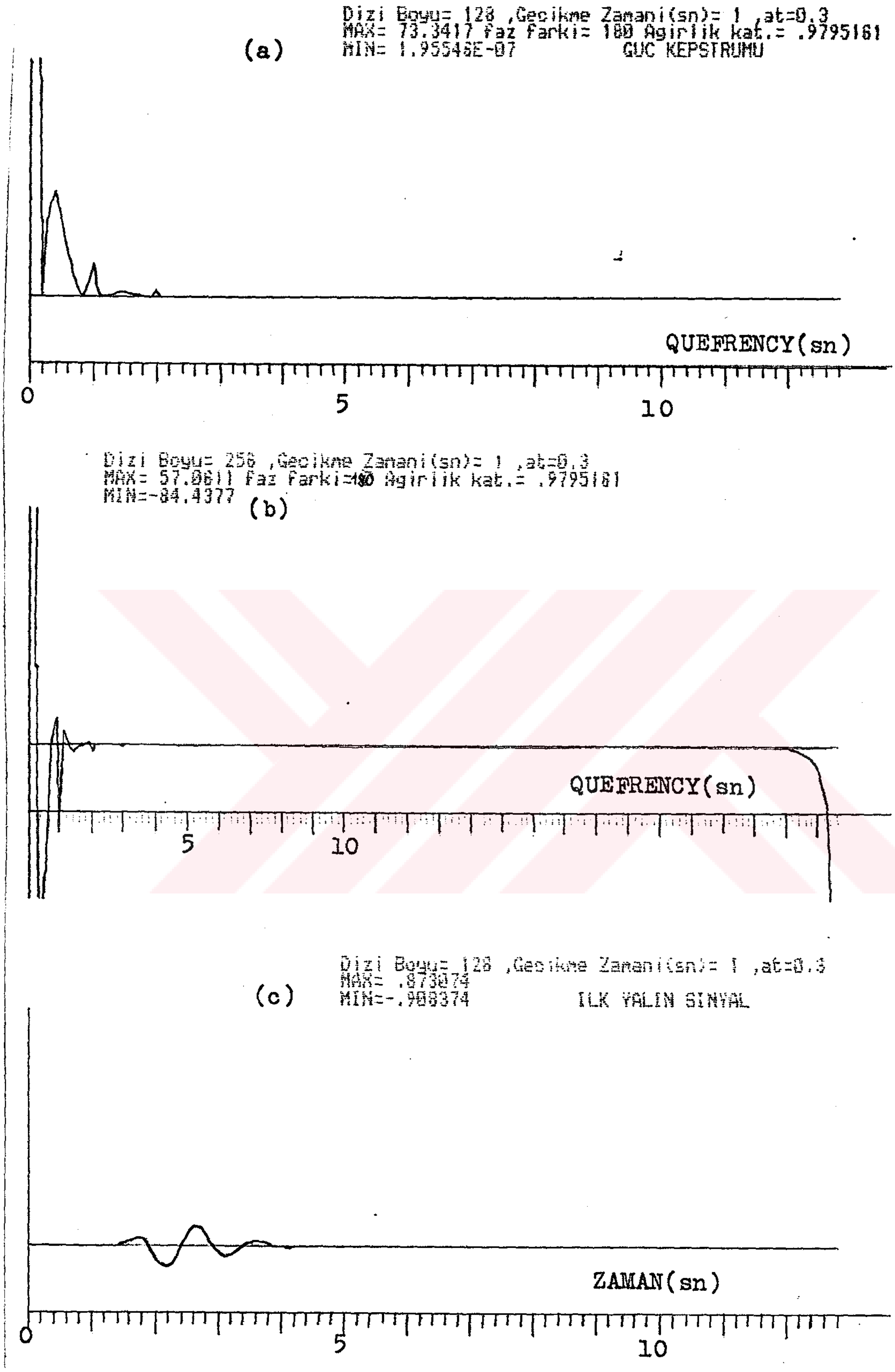
Şekil-4.21 Atenüasyon katsayısı at=0.4, dT=1.5sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin; (a) modeli, (b) logaritmik genlik spektrumu, (c) öziliskisinden hesaplanan kepstrumu.



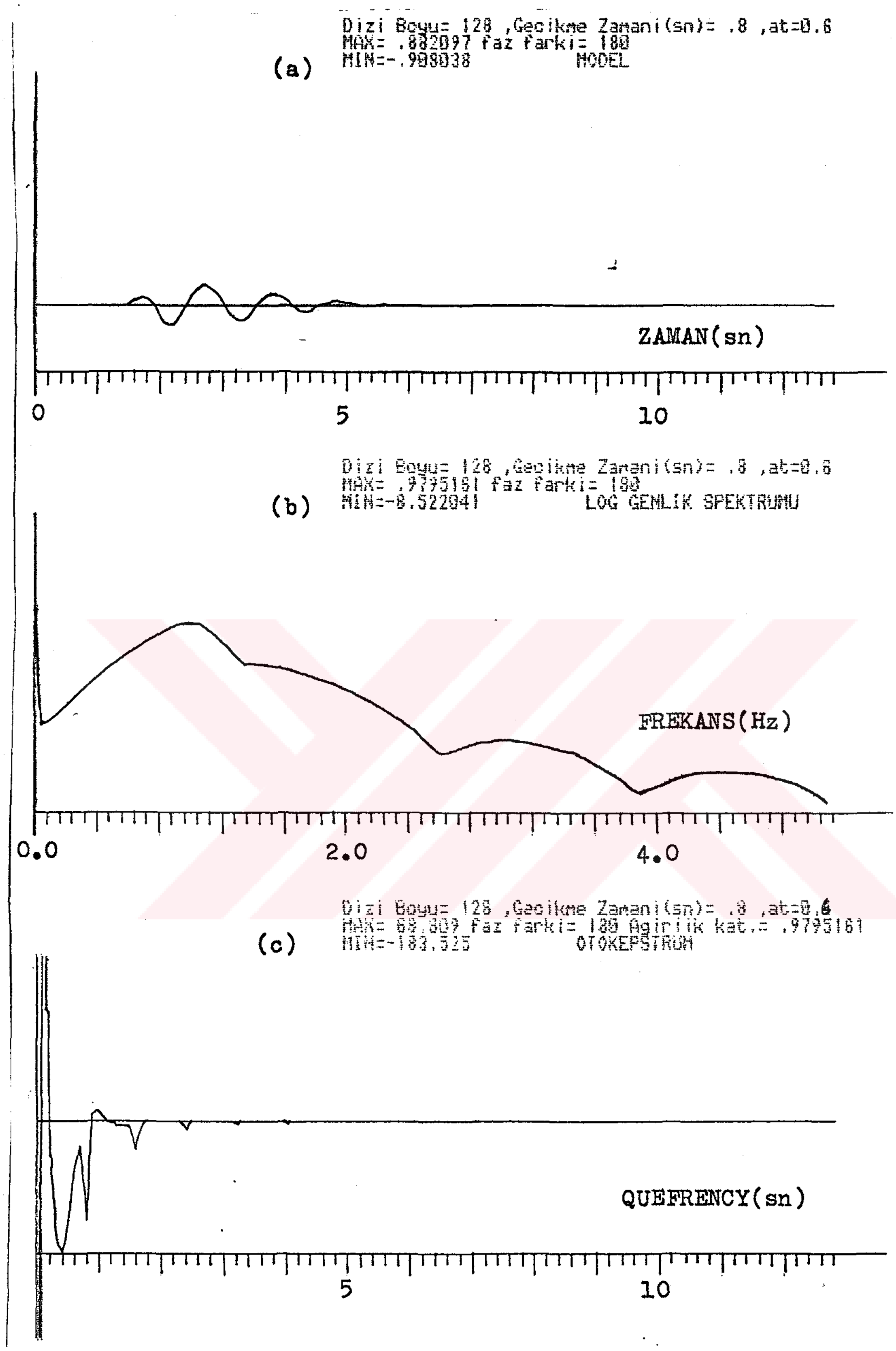
Şekil-4.22 Şekil-4.21'deki modelin (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyali.



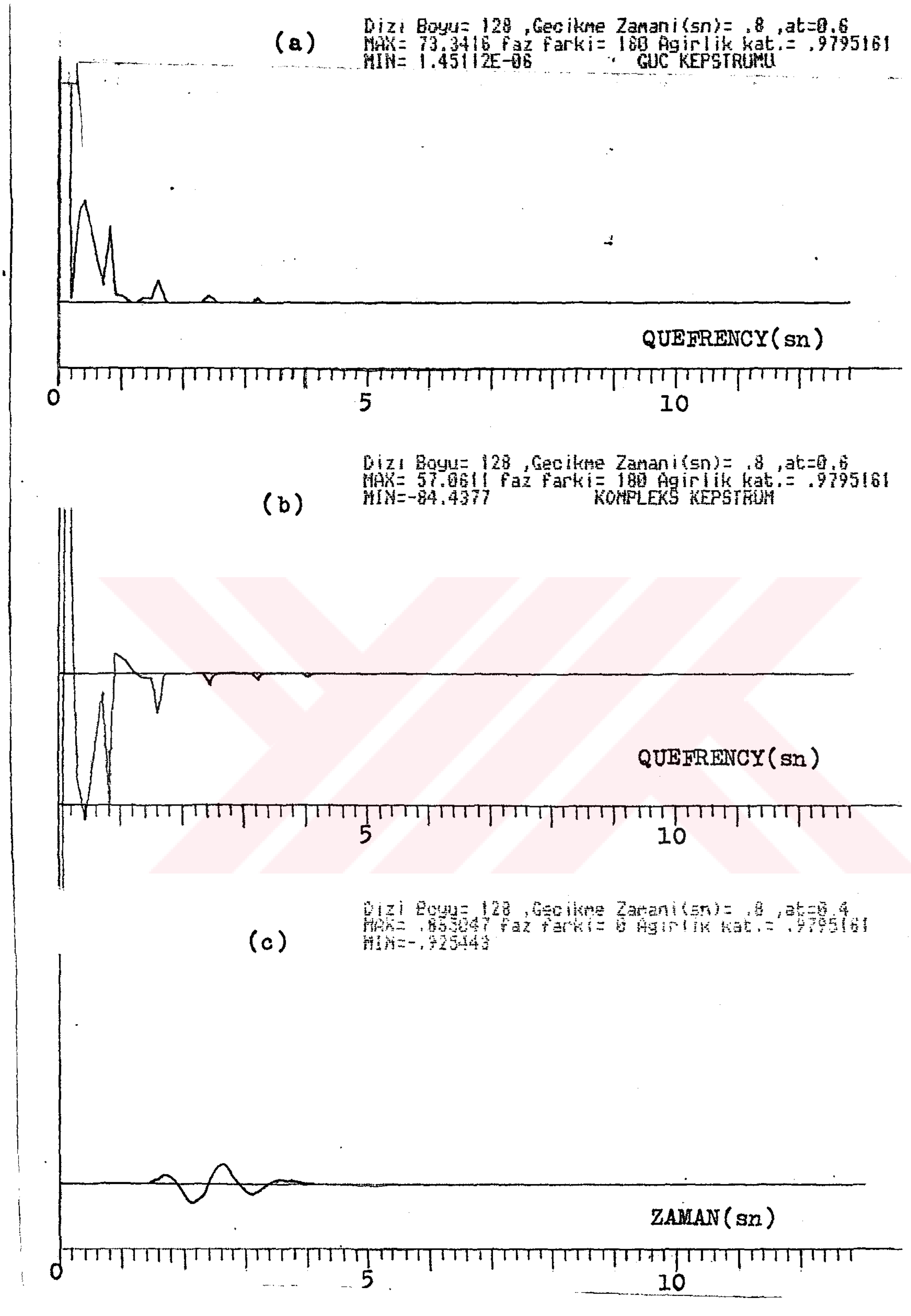
Şekil-4.23 Atenüasyon katsayısı at=0.3, dT=1sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin; (a) modeli, (b) logaritmik güç spektrumu, (c) özilişkisinden hesaplanan kepstrum.



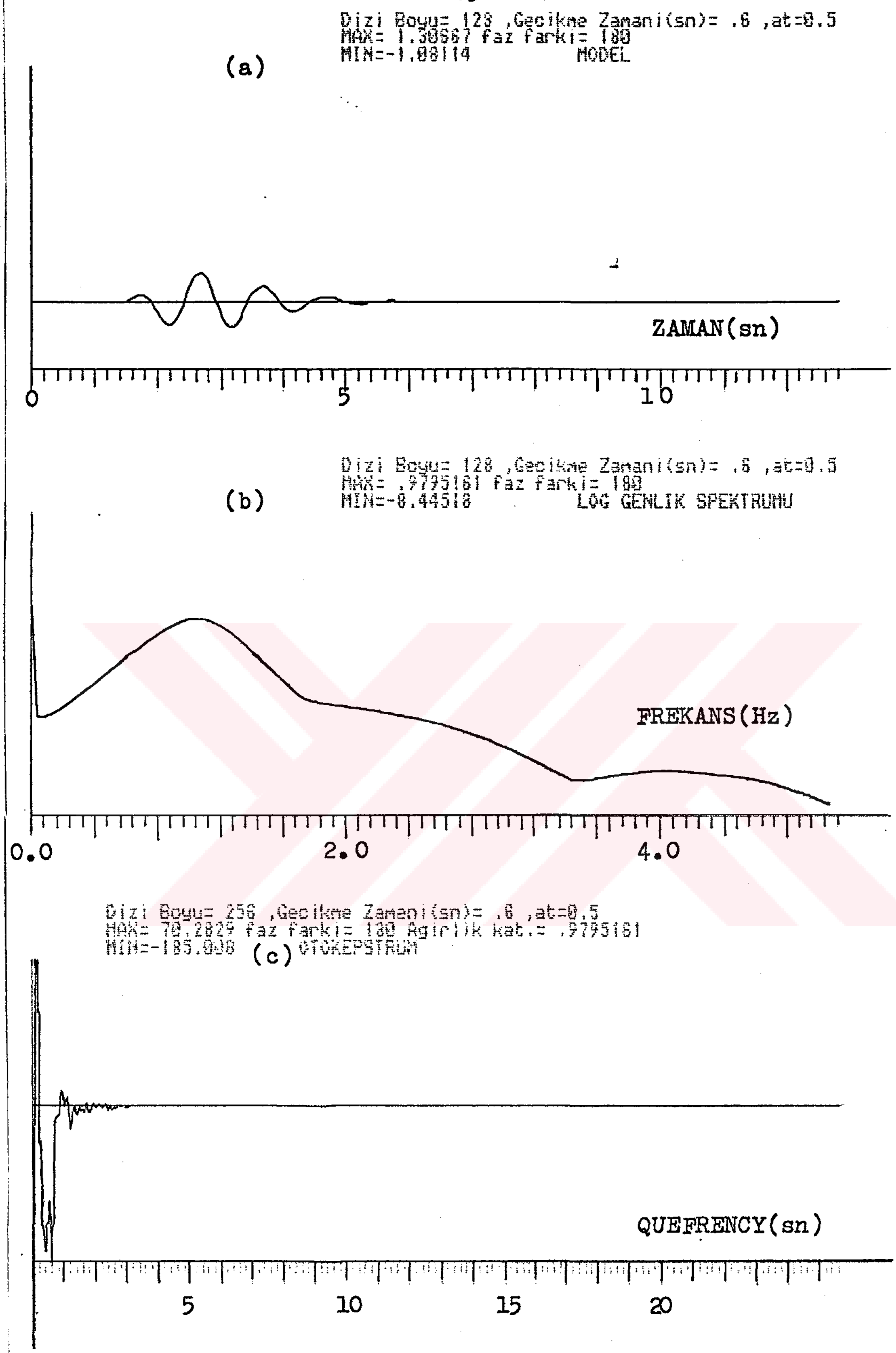
Şekil-4.24 Şekil-4.23'deki modelin (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyali.



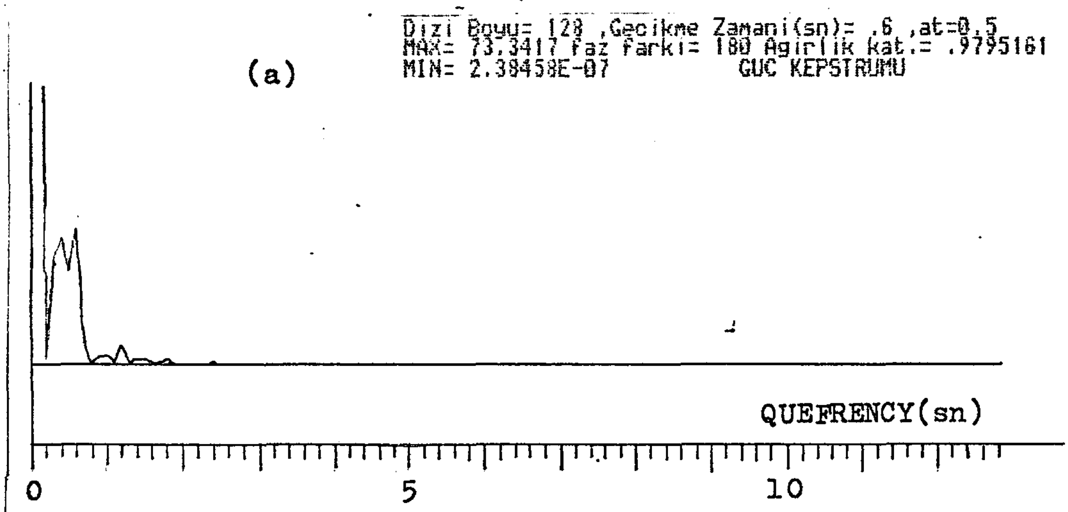
Şekil-4.25 Atenüasyon katsayısı at=0.6, dT=0.8sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin; (a) modeli, (b) logaritmik genlik spektrumu, (c) öziliişkisinden hesaplanan kepstrumu.

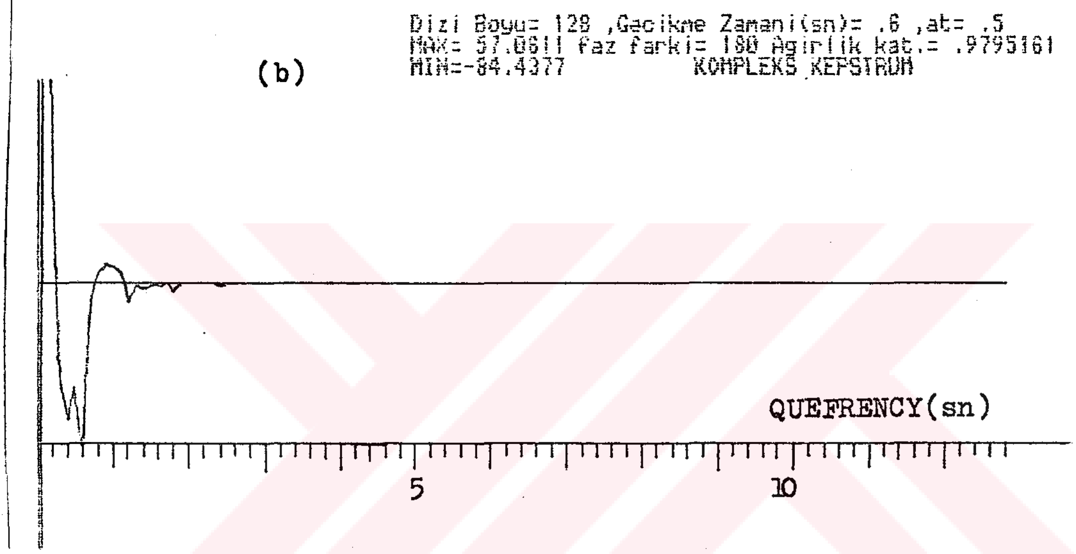


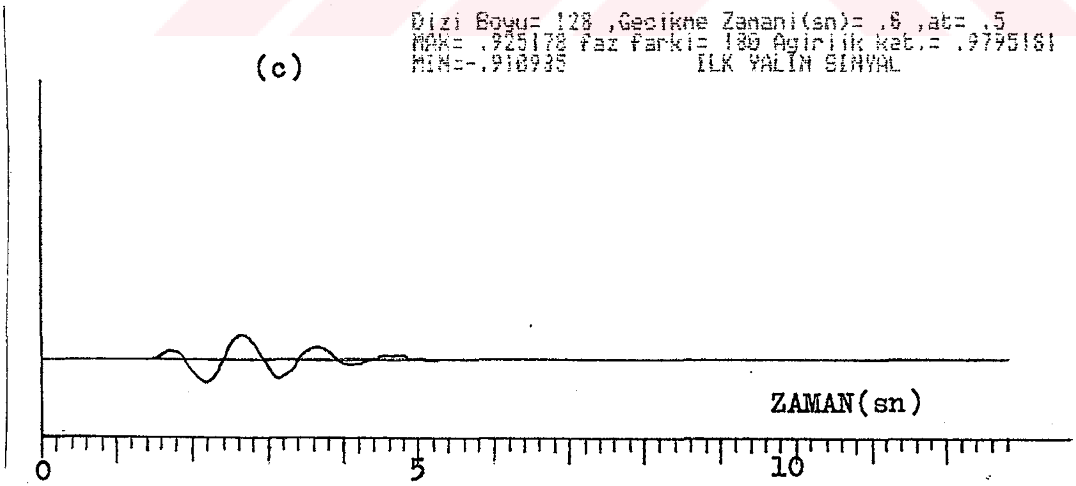
Şekil-4.26 Şekil-4.25'teki modelin (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyali.



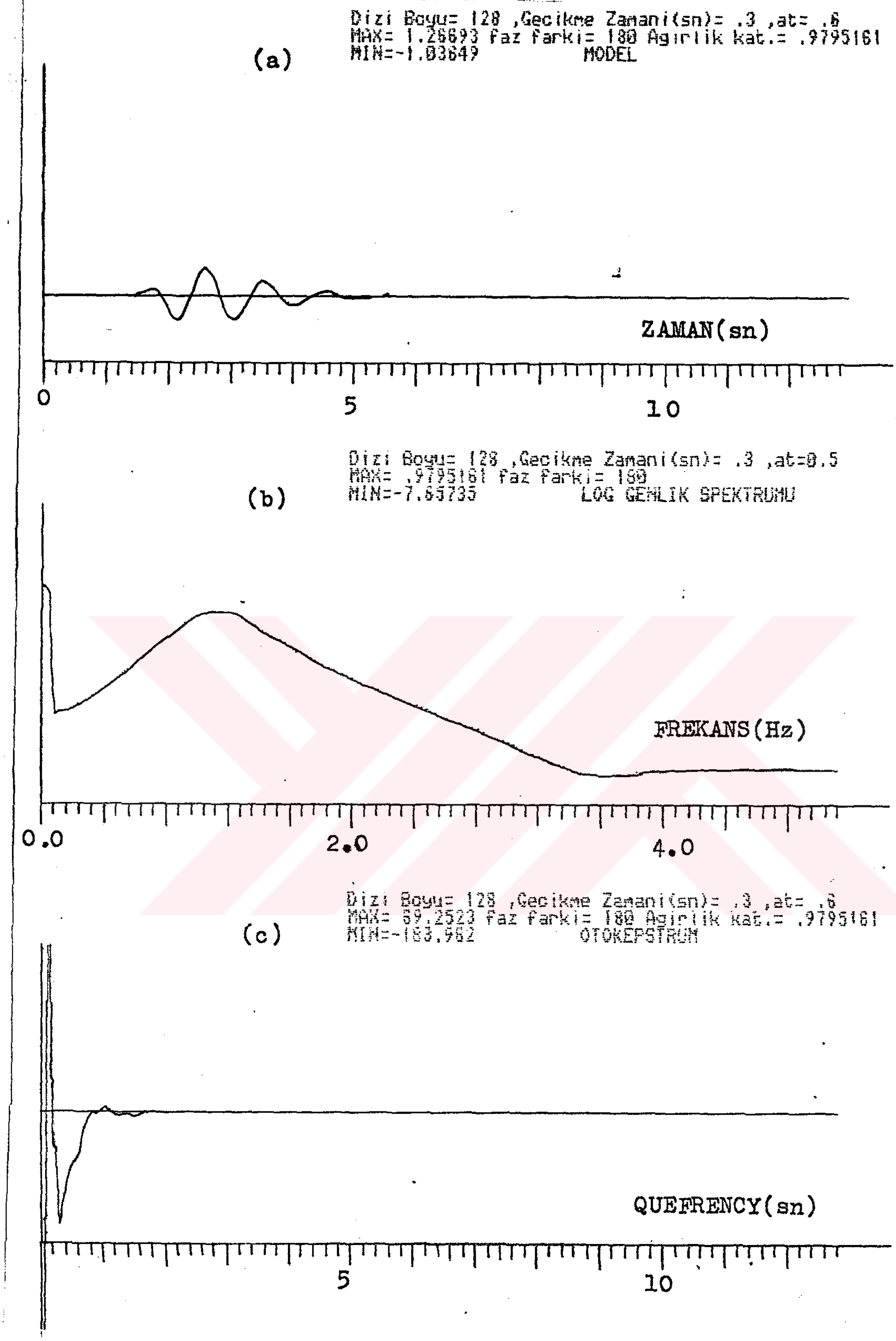
Şekil-4.27 Atenüasyon katsayısı at=0.5, dT=0.6sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin (a) modeli (b) logaritmik genlik spektrumu, (c) öziliskisinden hesaplanan kepstrumu.



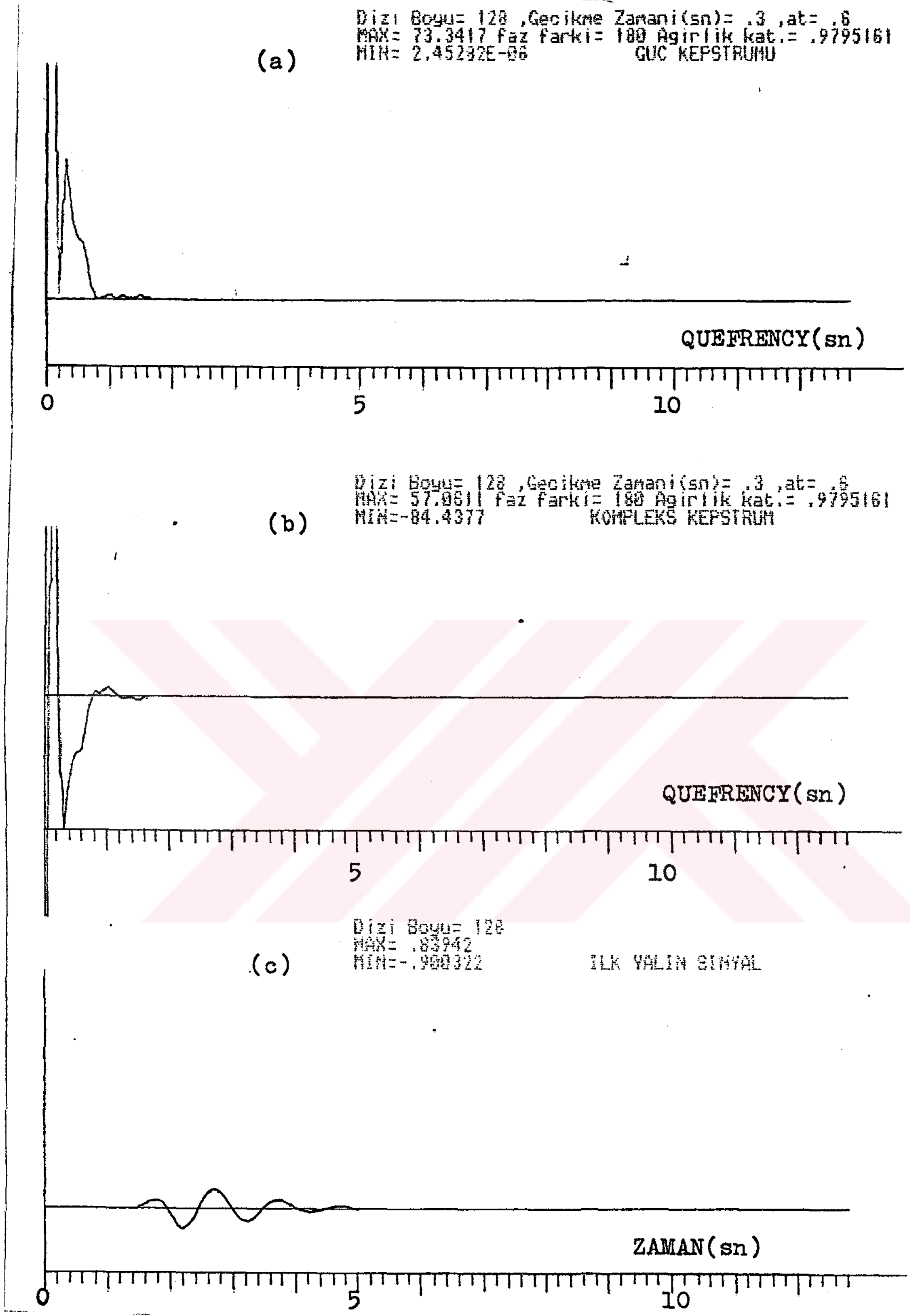




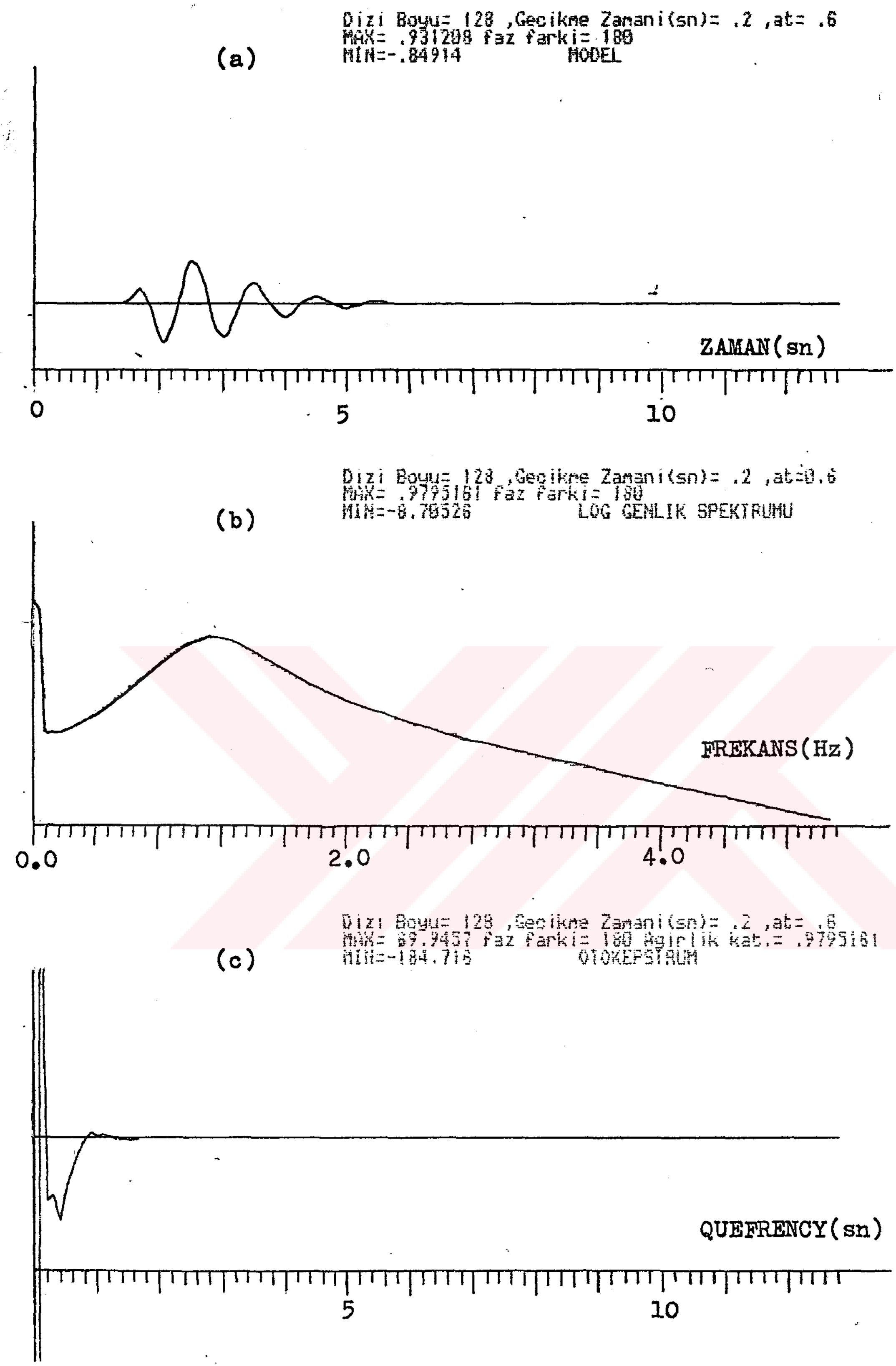
Şekil-4.28 Şekil-4.27'deki modelin; (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyal.



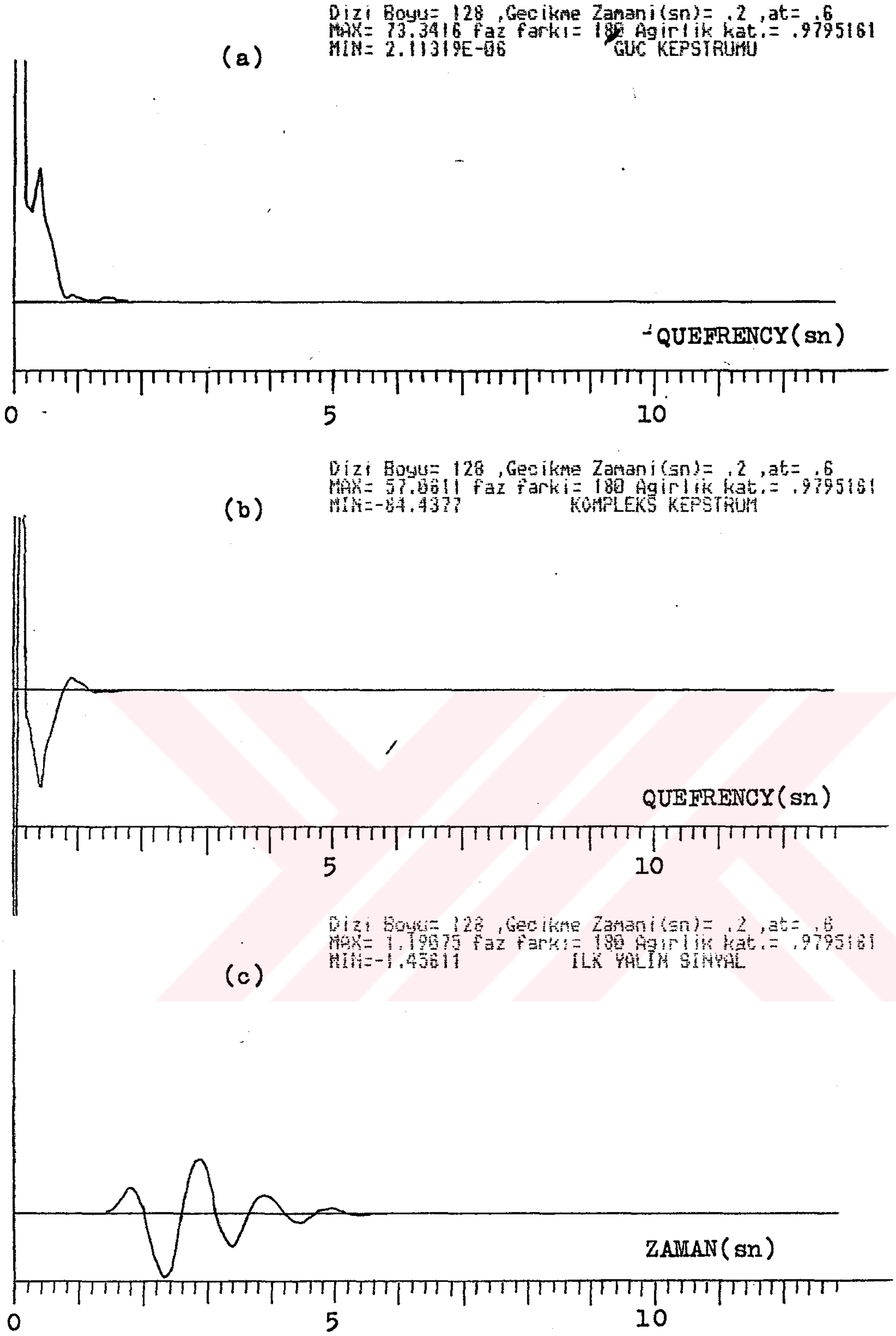
Şekil-4.29 Atenüasyon katsayısı at=0.6, dT=0.3sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin; (a) modeli, (b) logaritmik genlik spektrumu; (c) öziliişkisinden hesaplanan kepstrumu.



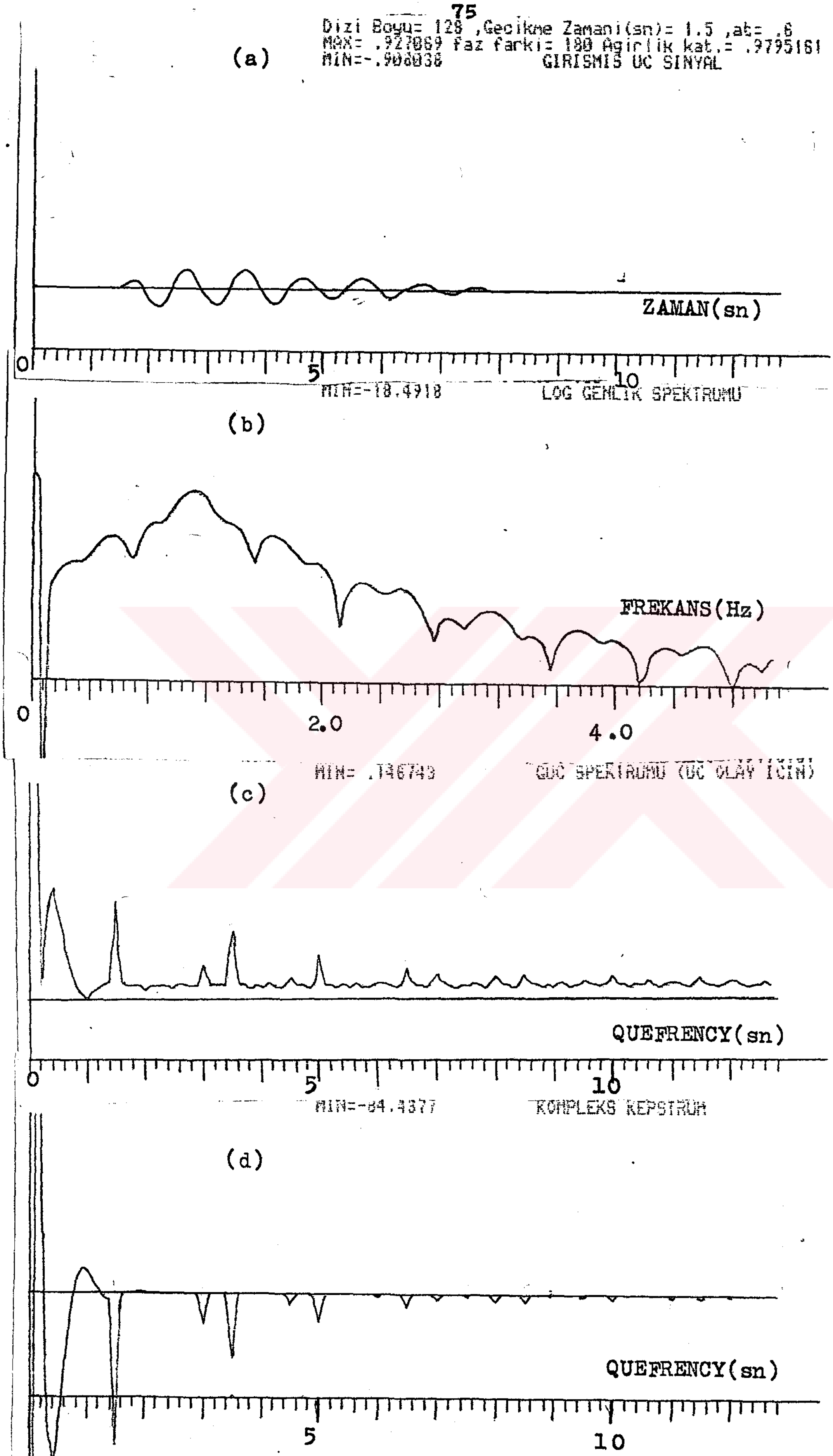
Şekil-4.30 Şekil-4.29'daki modelin (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyali.



Şekil-4.31 Atenüasyon katsayısı at=0.6, dT=0.2sn gecikmeli ve aralarında Ø=180° faz farkı olan girişmiş iki sinyalin (a) modeli, (b)logaritmik genlik spektrumu, (c) öziliskisinden hesaplanan kepstrumu.



Şekil-4.32 Şekil-4.31'deki modelin (a) güç kepstrumu, (b) kompleks kepstrumu, (c) elde edilen yalın sinyal.



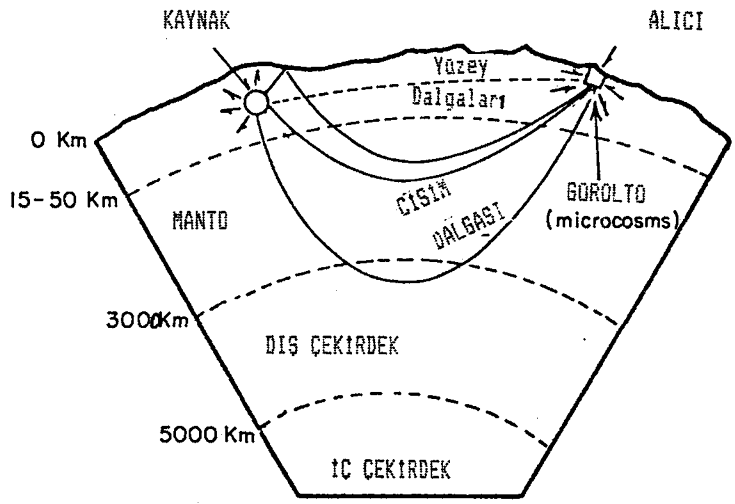
Şekil-4.33 Girişime uğramış üç sinyalin (a) modeli, (b) logaritmik genlik spektrumu, (c) güç kepstrumu, (d) kompleks kepstrumu. 2. sinyal ilk sinyale göre dT=1.5sn gecikmeli, Ø=180° faz farklı ve at=0.6 atenüasyon katsayısına sahiptir. 3. sinyal yalın sinyalegöre dT=3.5sn gecikmeli, Ø=180° faz

Buraya kadar yapılan model çalışmalarında dikkati çeken özelliklerden biri özilişki fonksiyonundan hesaplanan özilişki kepstrumu ile kompleks kepstrum arasında görülen benzerliktir. Özilişki kepstrumu hesabında faz bilgisi kaybolmasına rağmen faz bilgisine sahip olan kompleks kepstrum gibi davrandığı gözlenmektedir. Böylelikle her iki kepstrum yardımıyla echoların faz durumu hakkında görsel olarak bilgi edinilmesi mümkündür. Dikkati çeken diğer bir özellik ise birden fazla echonun olması durumunda genlik spektrumu veya logaritmik genlik spektrumu üzerinde bir spektral sıfırlama analizi yapmak zorlaşmaktadır.

4.2 Gözlemsel Veriler Üzerinde Analiz Çalışmaları

Şimdiye kadar yapılan model çalışmaları ile gözlemsel veriler üzerinde kullanacağımız analiz tekniklerinin çeşitli durumlarda etkinliklerini denetlemiş olduk. Bu bilgi ve deneyimlerin ışığı altında gözlemsel veriler üzerinde pP ve PcP fazlarına ait gecikme zamanlarını belirleyebiliriz.

Şekil-4.34'te gözlemsel veri olarak inceleyeceğimiz uzak alan depremleri ile istasyon arasında çeşitli dalga fazlarının ışın yörüngeleri görülmektedir. Kaynaktan çıkıp mantonun içinden geçerek alıcıya dogrudan gelen P fazı, yapılan model çalışmalarında ilk yalın sinyale karşılık gelir. Kaynaktan çıkıp yeryüzünde yansıyarak yine P fazı ile aynı yörüngeyi takip ederek alıcıya gelen dalga pP fazıdır. Kaynaktan çıkıp yerin dış çekirdeğinden yansıdıktan sonra alıcıya gelen dalga PcP fazıdır. Şekil-4.34 Chen,1985'ten uyarlanarak çizilmiştir. Gözlemsel verilerimizde de görüleceği gibi pP ve PcP fazlarının diğer fazlarla olan yapıcı ve bozucu girişimlerinden dolayı sismogramlar üzerinde gözle görülmeyebilirler.



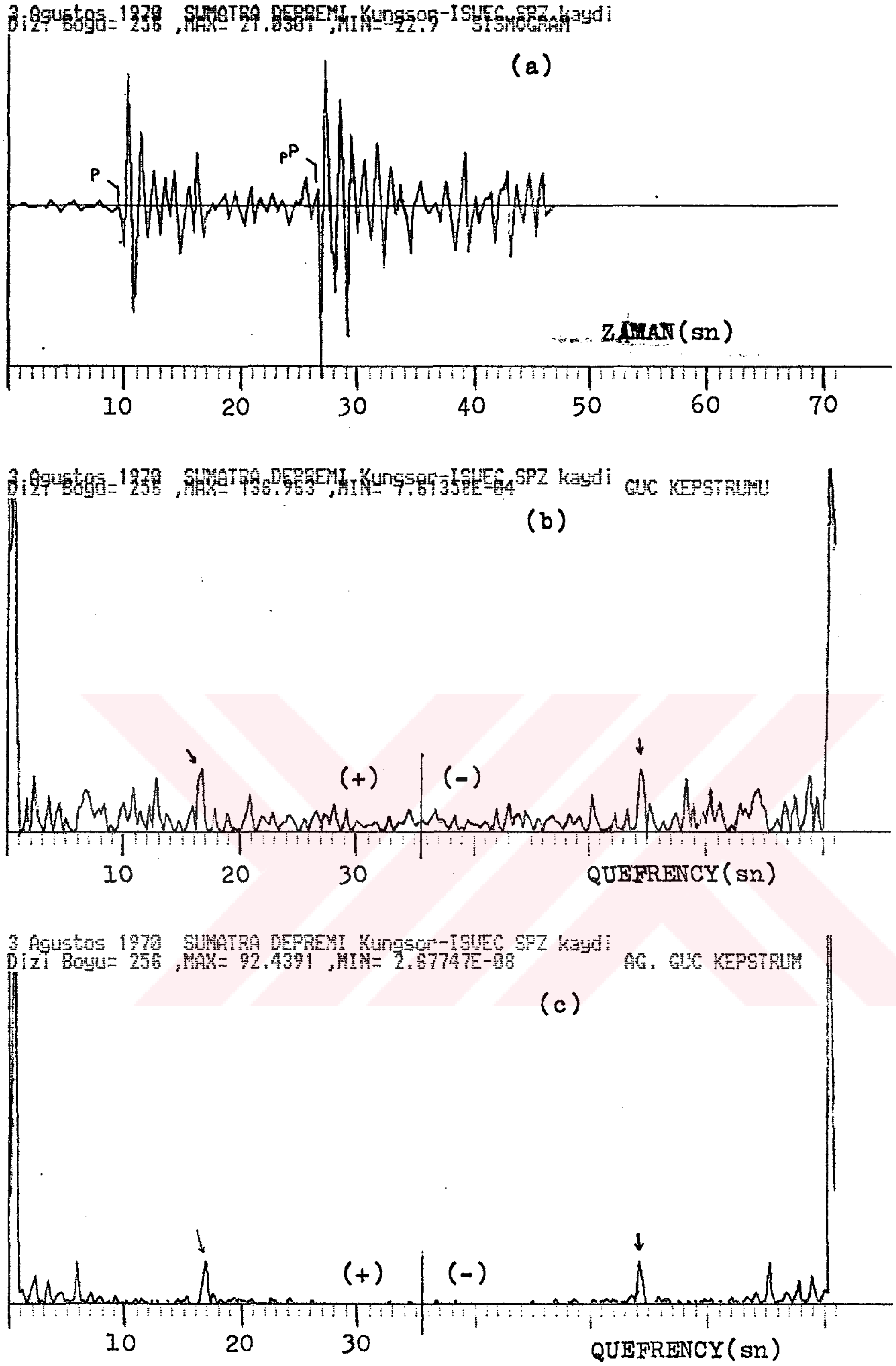
Şekil-4.34 Uzak alan cisim dalgalarının ışın yolları (Chen,1985).

İncelenecek olan ilk gözlemsel veri tipik bir kısa-periyod düşey bileşen kaydı olup, orjinal sismogram büyültülerek bilgisayar analizi için sayısallaştırıcıyla sayısal hale getirilmiştir. USCGS'ye göre deprem parametreleri; 3 Agustos 1970, 22:30:02.5, 2.6°N, 98.0°E, d=60km, SUMATRA depremi olup Kungsör-İSVEÇ'de kaydedilmiştir. Kayıt istasyonundan yaklaşık 83° uzaklıktadır. Şekil-4.35a'da görülen sismogram üzerinde P ve pP fazları varışları belirtilmiştir.

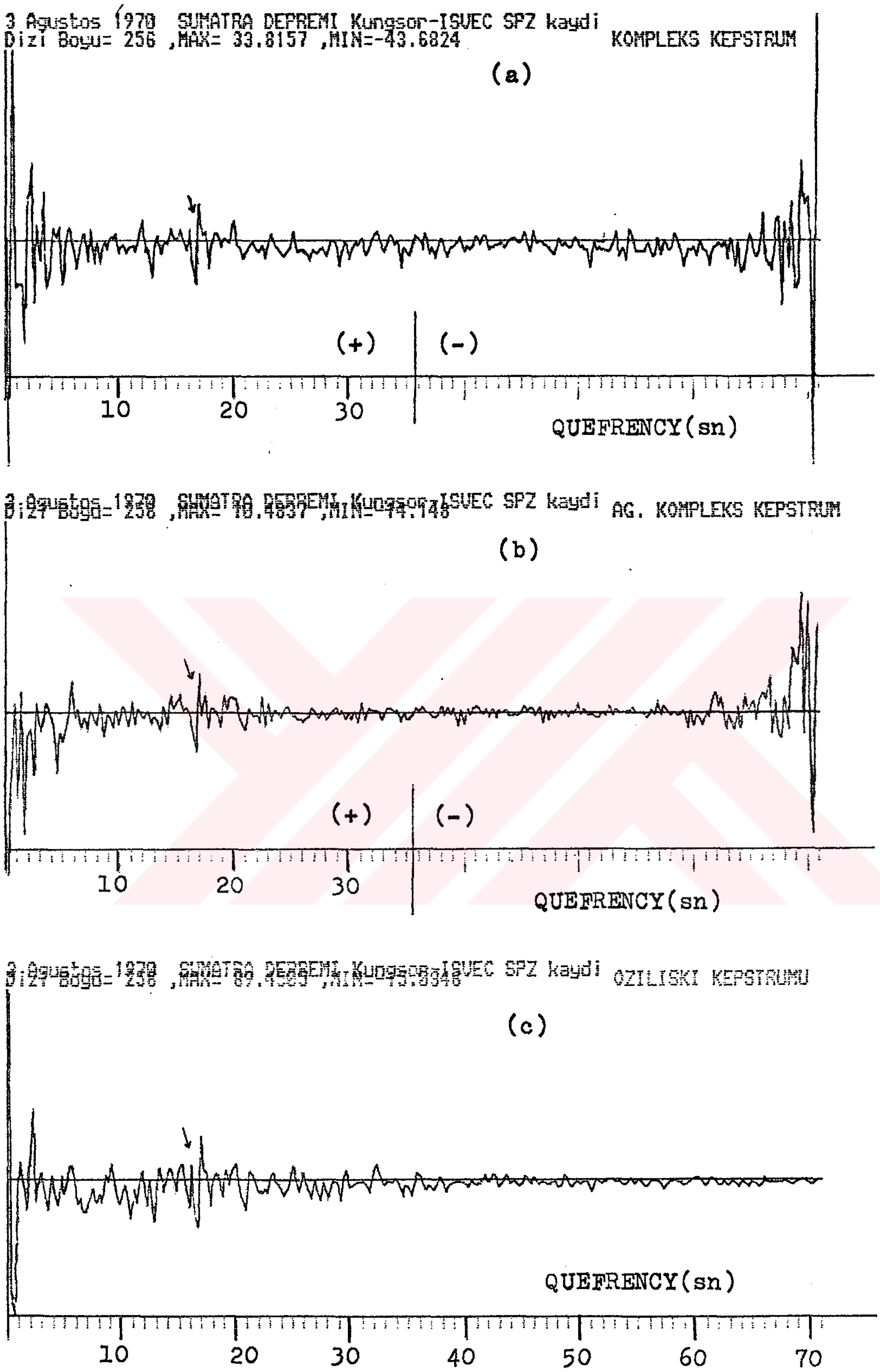
Sismogramlar sayısal hale dönüştürülürken gelişgüzel aralıklarla örneklenmekte daha sonra bu değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılmaktadır. Daha sonra sismogramlar bilgisayarda eşit aralıklarla örneklendikten sonra D.C trendleri giderilmektedir. Bu çalışmada tüm sismogramlar için dt=1.0 sn örnekleme aralığı alınmıştır.

Spektral analize hazır hale gelen veri üzerinde sırasıyla güç kepstrumu, kompleks kepstrum, özilişki fonksiyonundan hesaplanan özilişki kepstrumu ve özilişki fonksiyonu hesaplanmış, ayrıca ağırlıklandırılmış veri için de aynı kepstral işlemler yapılmıştır. Ağırlıklandırma işlemi ham veriyi zaman ortamında (4.13) formülüne göre N=256 dizi boyu için a=0.991051876 alınıp a^t şeklinde üstel bir fonksiyonla çarpılarak yapılmaktadır. t; örnekleme indeksidir.

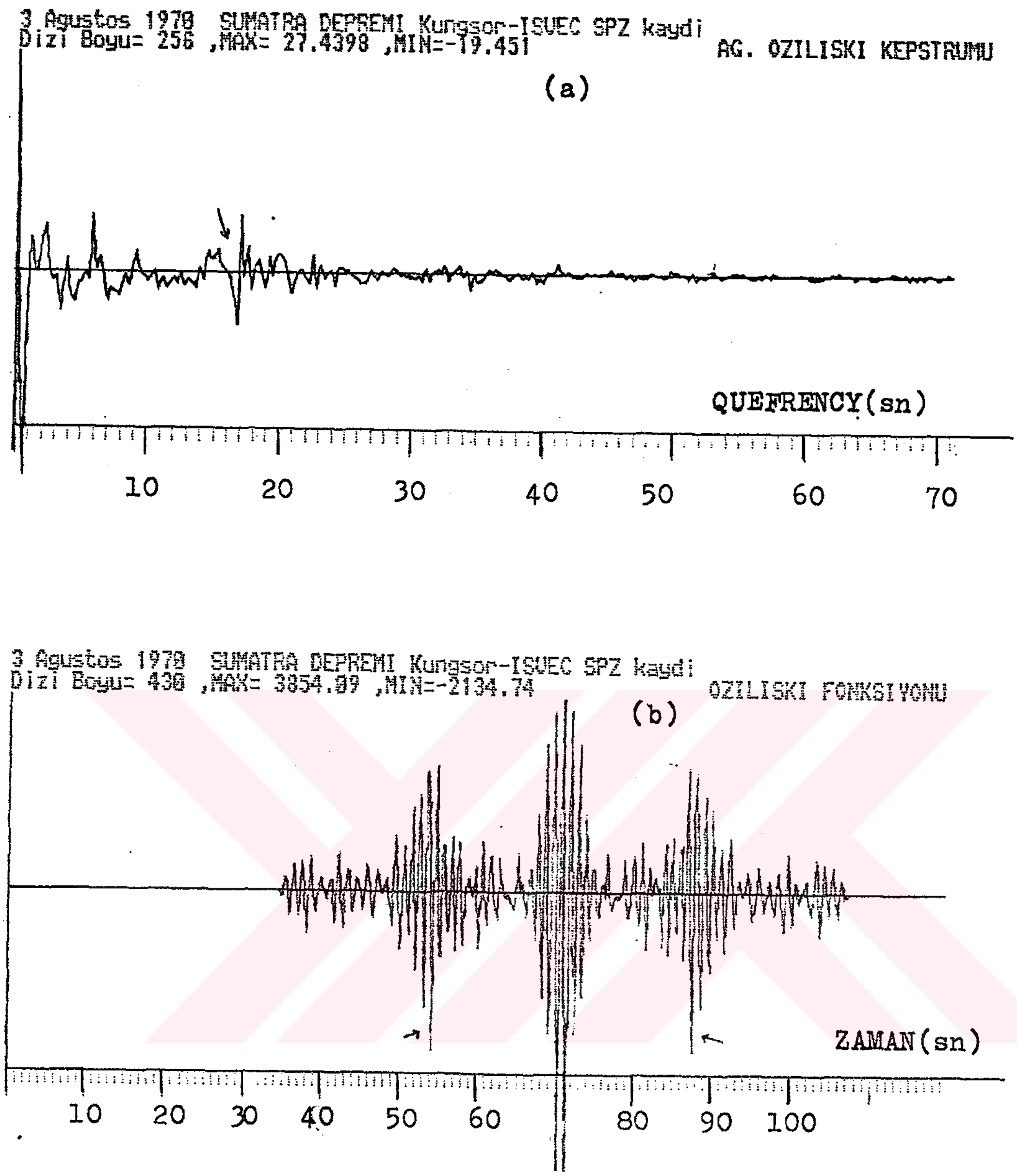
Sumatra depremi için yapılan spektral analiz çalışmaları Şekil-4.35,4.36,4.37'de görülmektedir. Bu işlemler sırasıyla Sumatra depremi için hesaplanmış güç kepstrumu, kompleks kepstrum, özilişki kepstrumu ve özilişki fonksiyonu olup ağırlıklandırılmış sismogram üzerinde de aynı kepstrum hesaplamaları yapılmıştır. Şekil-4.35a' daki sismogram üzerinde belirtilen P ve pP fazları arasındaki gecikme dT=17sn dir. Bu gecikme zamanı, hesaplanan güç kesptrumunda



Şekil-4.35 3.8.1970 tarihli Sumatra depreminin; (a)sismogramı, (b) güç kepstrumu, (c) ağırlıklandırılmış veri için güç keps.



Şekil-4.36 3.8.1970 tarihli Sumatra depreminin; (a) kompleks kepstrumu, (b) ağırlıklandırılmış veri için kompleks kepstrumu, (c) özilişki kepstrumu.



Şekil-4.37 3.8.1970 tarihli Sumatra depreminin; (a) ağırlıklandırılmış veri için özilişki kepstrumu, (b) özilişki fonks.

17sn'de ki pik ile gözlenmektedir. Fakat bu pik belirgin olmayıp, ağırlıklandırılmış sismogram için hesaplanan güç kepstrumunda daha belirgin olduğu görülür. Aynı şekilde kompleks kepstrum ve öziliişki kepstrumlarına baktığımızda dT=17sn'ye karşılık gelen yerde yine belirgin olmayan bir pik görmekteyiz. Diğer taraftan ağırlıklandırılmış veri için hesaplanan kompleks kepstrum ve öziliişki kepstrumlarına baktığımızda bu pikin daha belirgin hale geldiği görülür.

Model çalışmalarından hatırlanacağı gibi kompleks ve öziliişki kepstrumları girişime uğramış dalga fazları arasındaki faz farkı hakkında bize bilgi vermektedir. Sumatra depremi için hesaplanan kompleks ve öziliişki kepstrumlarına baktığımızda gecikme zamanı dT=17sn'ye karşılık gelen yerde bariz bir delta fonksiyonu olmayıp distorsiyona uğramış bir delta fonksiyonu olduğu görülür. Bu distorsiyonlu pikin şekline bakarak daha önceki deneyimlerimiz ile pP fazının P fazına göre yaklaşık 220° kadar bir faz farkı olduğunu söyleyebiliriz. Diğer taraftan Sumatra depremi için hesaplanan öziliişki fonksiyonunda merkezdeki en büyük pikin her iki tarafındaki negatif genlik değeri en büyük olan piklerin merkeze uzaklığından dT=17sn olarak gecikme zamanı bulunmaktadır.

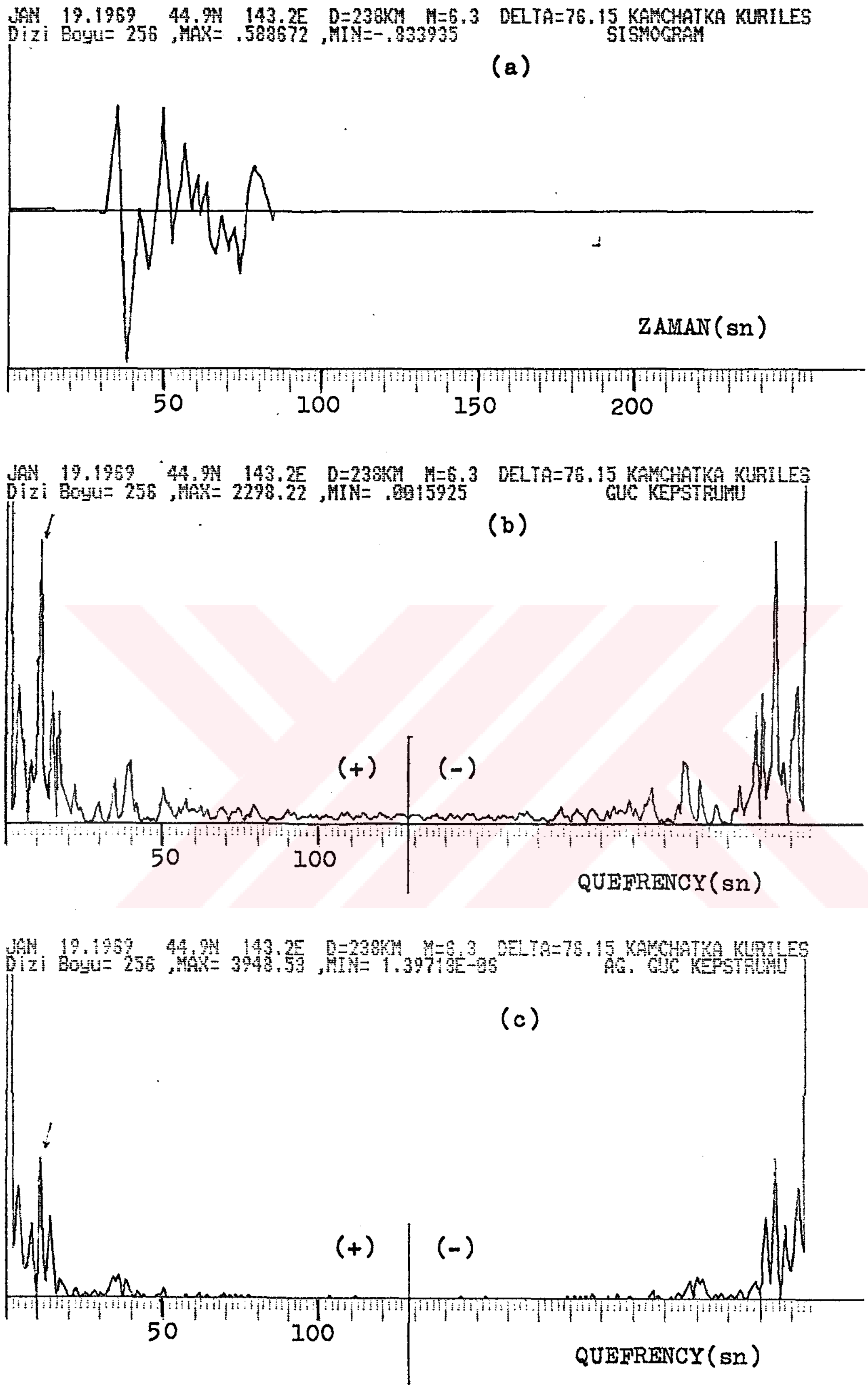
Sumatra depremi için hesaplanan kepstrumlara baktığımızda aradığımız gecikme zamanına karşılık gelen pikler dışında da bir takım gözle seçilebilir piklerin olduğu görülür. Bu durum öziliişki fonksiyonunda da mevcuttur. Buna sebep olarak birden fazla kaynak etkisi (multiple source effect) veya farklı yörüngeleri izleyip gelen fazlar (multiple transmission paths) olduğu söylenebilir.

İncelenecek olan ikinci gözlemsel veri Şekil-4.38a'da görülen 19 Ocak 1969 Kamchatka-Kurile depreminin İstanbul

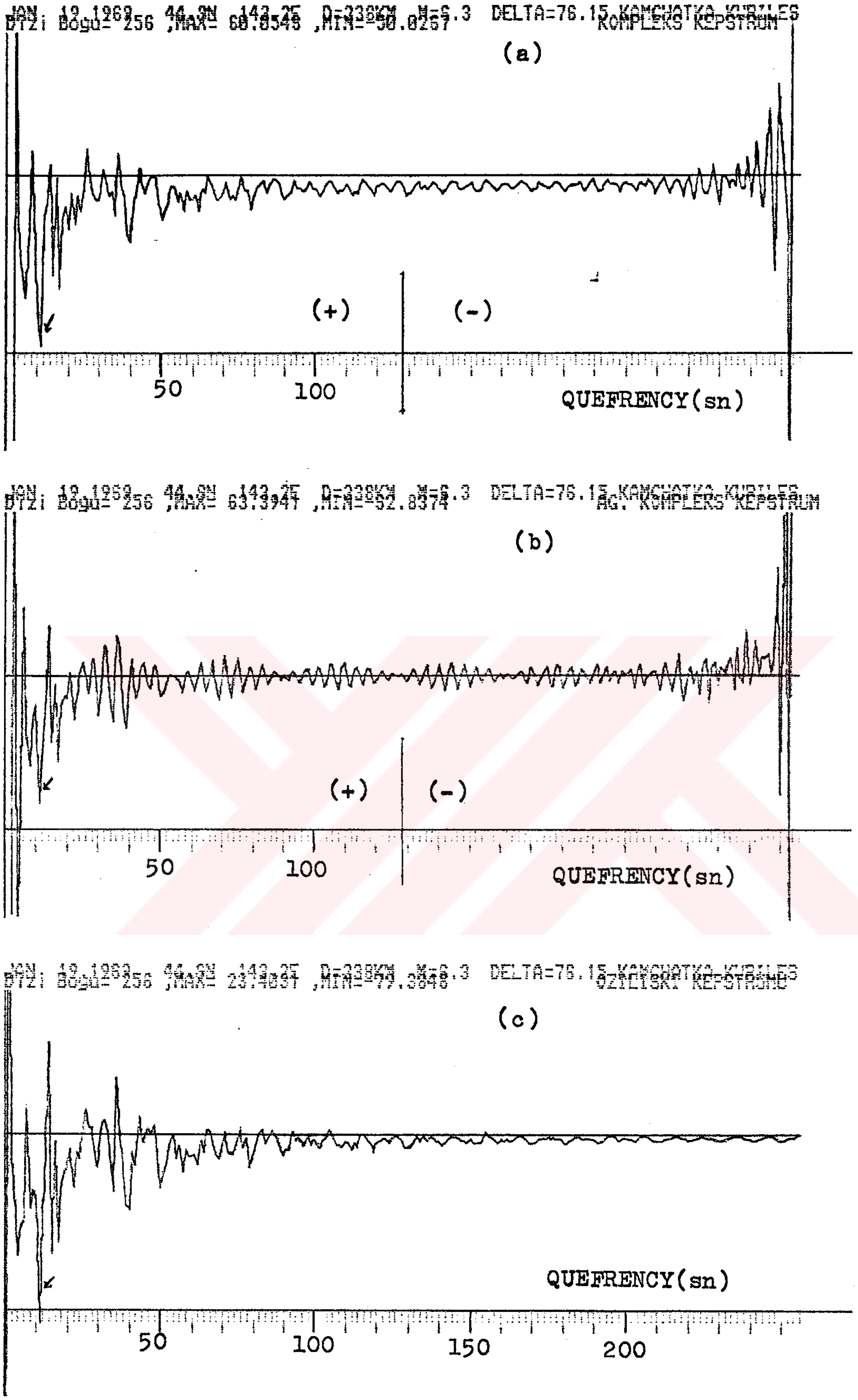
Teknik Üniversitesi (İTÜ) Maden Fakültesi'nde Uluslararası Sismograf Şebekesine (WWSSN) dahil istasyondaki uzun-periyod düşey bileşen kaydıdır. Bu deprem için ISC (International Seismological Center) bültenlerinden alınan parametreleri; 19.01.1969, 07 02 04.4, 49.9°N, 143.2°E, d=283km, M=6.3, Kamchatka-Kurile'dir. Kayıt istasyonunda 76.12° uzaklıktadır. Sumatra depreminde olduğu gibi bu veri için de spektral analize geçmeden önce benzer işlemler yapılarak dt=1sn aralıklarla örneklenmiştir. Yapılan spektral analiz çalışmaları Şekil-4.38,4.39,4.40'da gösterilmektedir. Bu deprem için Jeffreys-Bullen,1970 tablolarından bulunan pP ve PcP fazlarına ait gecikme zamanları T_{PcP}-Tp=12.6sn, T_{pP}-Tp=54sn'dir. Diğer taraftan sismogram örneklenirken pP fazı örnekleme aralığının dışında bırakılmıştır.

Kamchatka-Kurile 19.01.1969 depremi için hesaplanan Şekil-4.38b.c'deki güç kepstrumlarına baktığımızda PcP fazını yaklaşık dT=11.5sn'de saptandığı görülebilir. Güç kepstrumunda pP veya PcP fazını belirlemede dikkat edilecek unsur orijindeki P fazına ait etkilerden sonra gelen ilk büyük genlikli piki dikkate almaktır. Bu depremin diğer kepstrumlarını incelediğimizde yine dT=11.5sn'de bu piki görebilmekteyiz. Kompleks ve özilişki kepstrumlarına dayanarak bu deprem için PcP fazının P fazına göre yaklaşık 180° faz farkı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan PcP fazının P fazına göre aralarında dT=11.5sn kadar gecikme olduğu ve aralarında 180° faz farkı olduğu özilişki fonksiyonuyla da belirlenmektedir. Ayrıca gerek kepstrumlarda gerekse özilişki fonksiyonunda yaklaşık 37sn'de diğer bir olayın varlığı belirgin olarak gözlenmektedir.

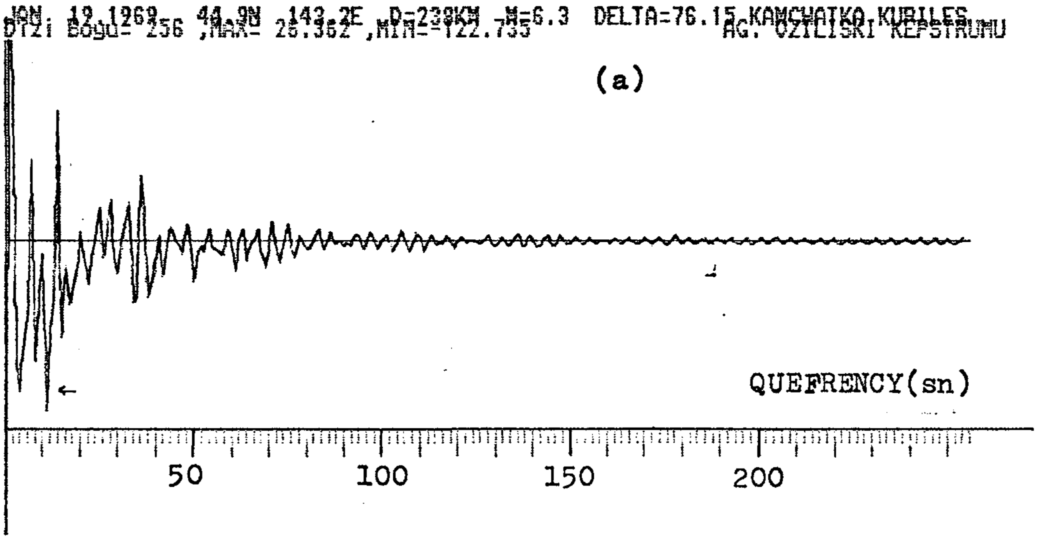
İnceliyeceğimiz son örnek yine Kuriles-Kamchatka bölgesinden olup 12 Agustos 1969 tarihli depremin İTÜ-İstanbul uzun periyod düşey bileşen kaydıdır. Bu depreme ait

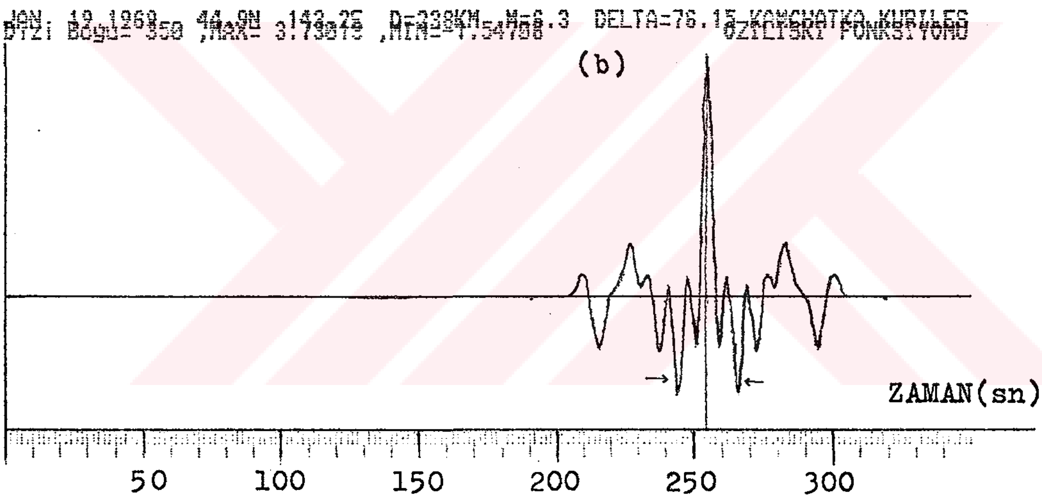


Şekil-4.38 19.1.1969 tarihli Kamchatka-Kuriles depreminin; (a) sismogramı, (b) güç kepstrumu, (c) ağırlıklandırılmış veri için güç kepstrumu.



Şekil-4.39 19.1.1969 tarihli Kamchatka-Kuriles depreminin; (a) kompleks kepstrumu, (b) ağırlıklandırılmış veri için kompleks kepstrumu, (c) öziliski kepstrumu.

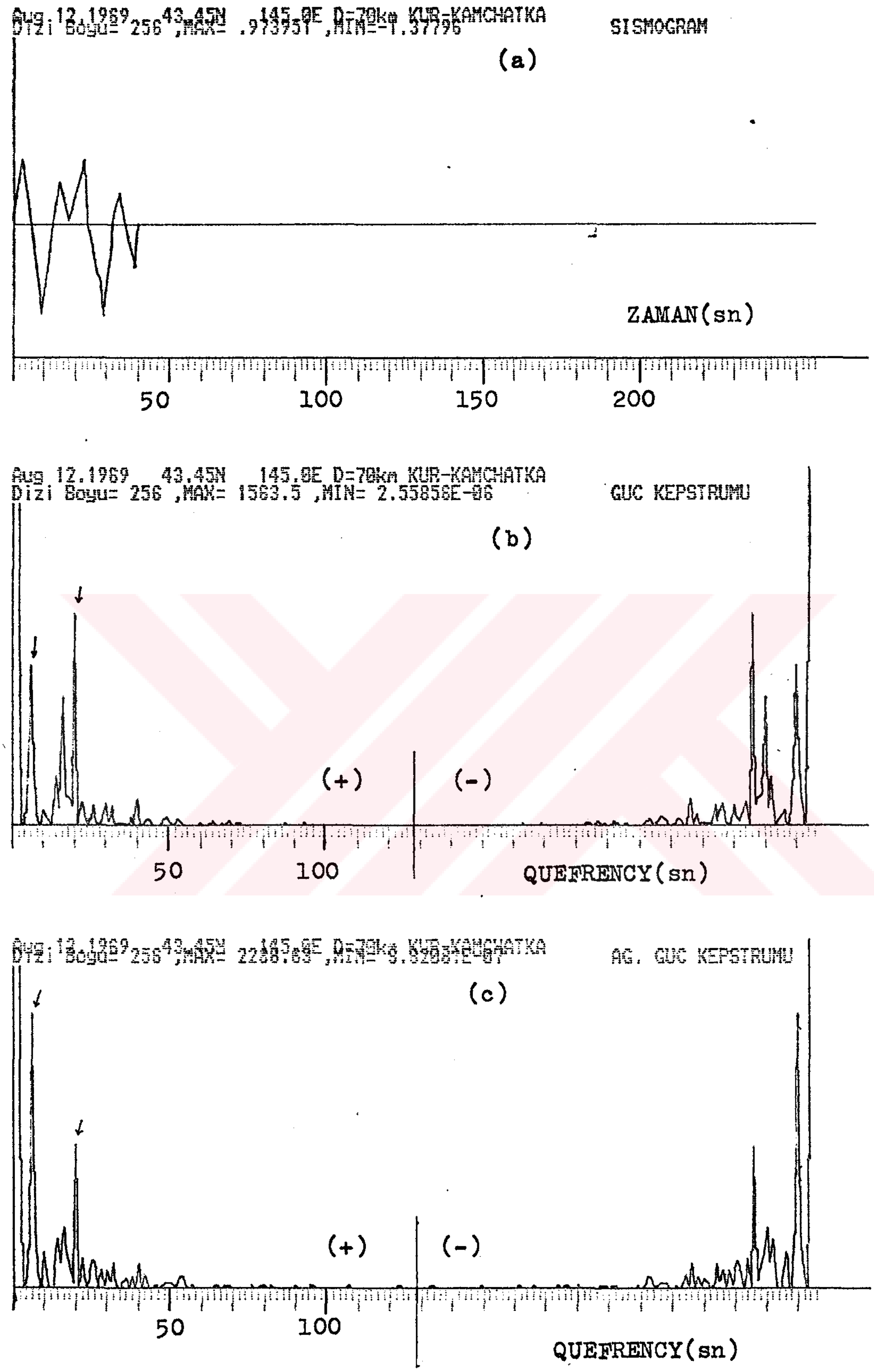




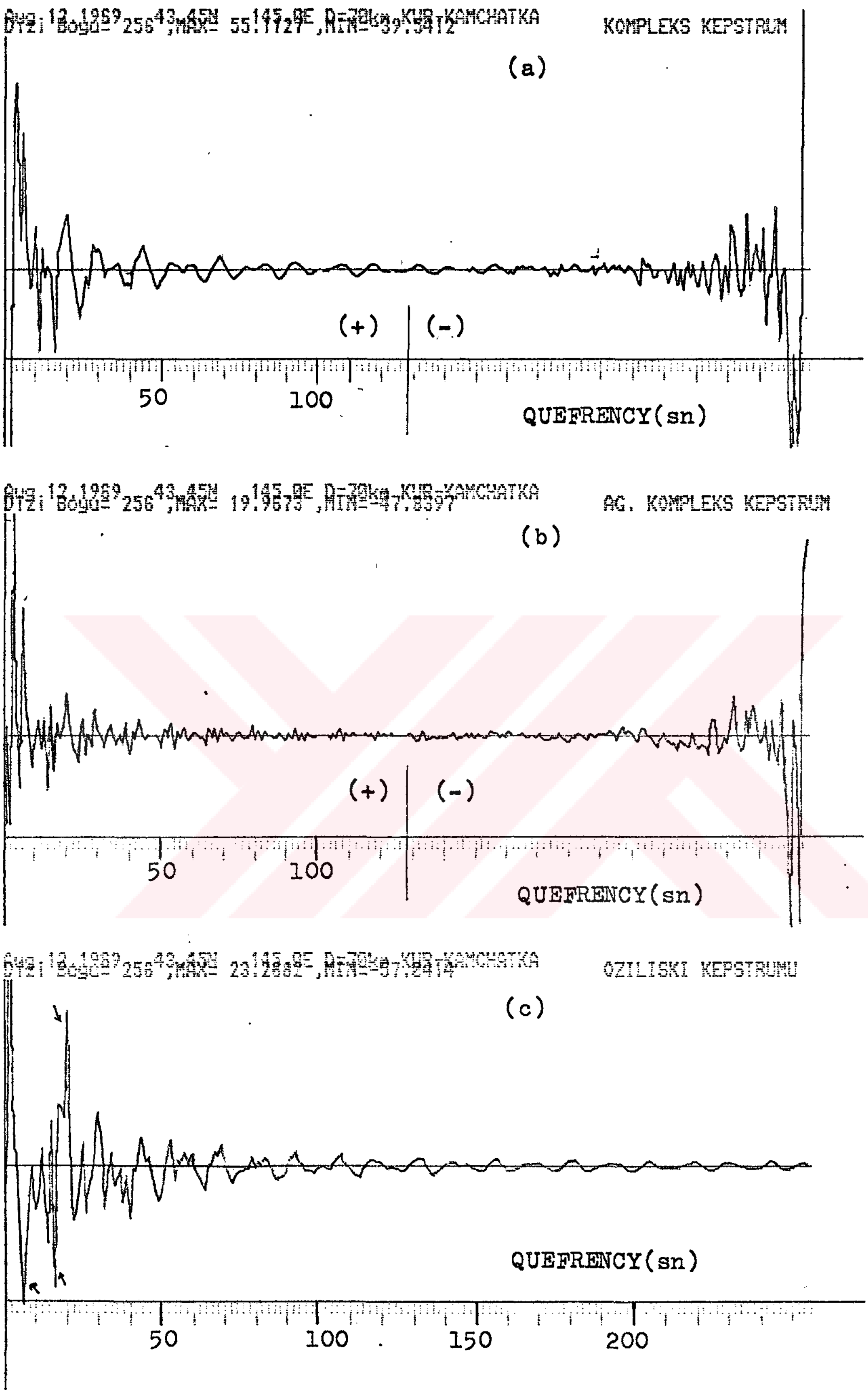
Şekil-4.40 19.1.1969 tarihli Kamchatka-Kuriles depreminin; (a) ağırlıklandırılmış veri için özilişki kepstrumu, (b) özilişki fonksiyonu.

parametreler; 12 08 1969, 05 03 26.5, 43.4°N, 145.0°E, d=70km M=6.0, Kamchatka-Kurile olup kayıt istasyonuna 78.06° uzaklıktadır. Diğer veriler üzerinde olduğu gibi bu deprem verisi için de spektral analiz öncesi benzer işlemler yapılarak 1sn eşit aralıklarla örneklenmiştir. Bu deprem için Jeffreys-Bullen tablolarında bulunan gecikme zamanı değerleri; T_{PcP}-Tp=7.2sn, T_{pP}-Tp=18.0sn dir.

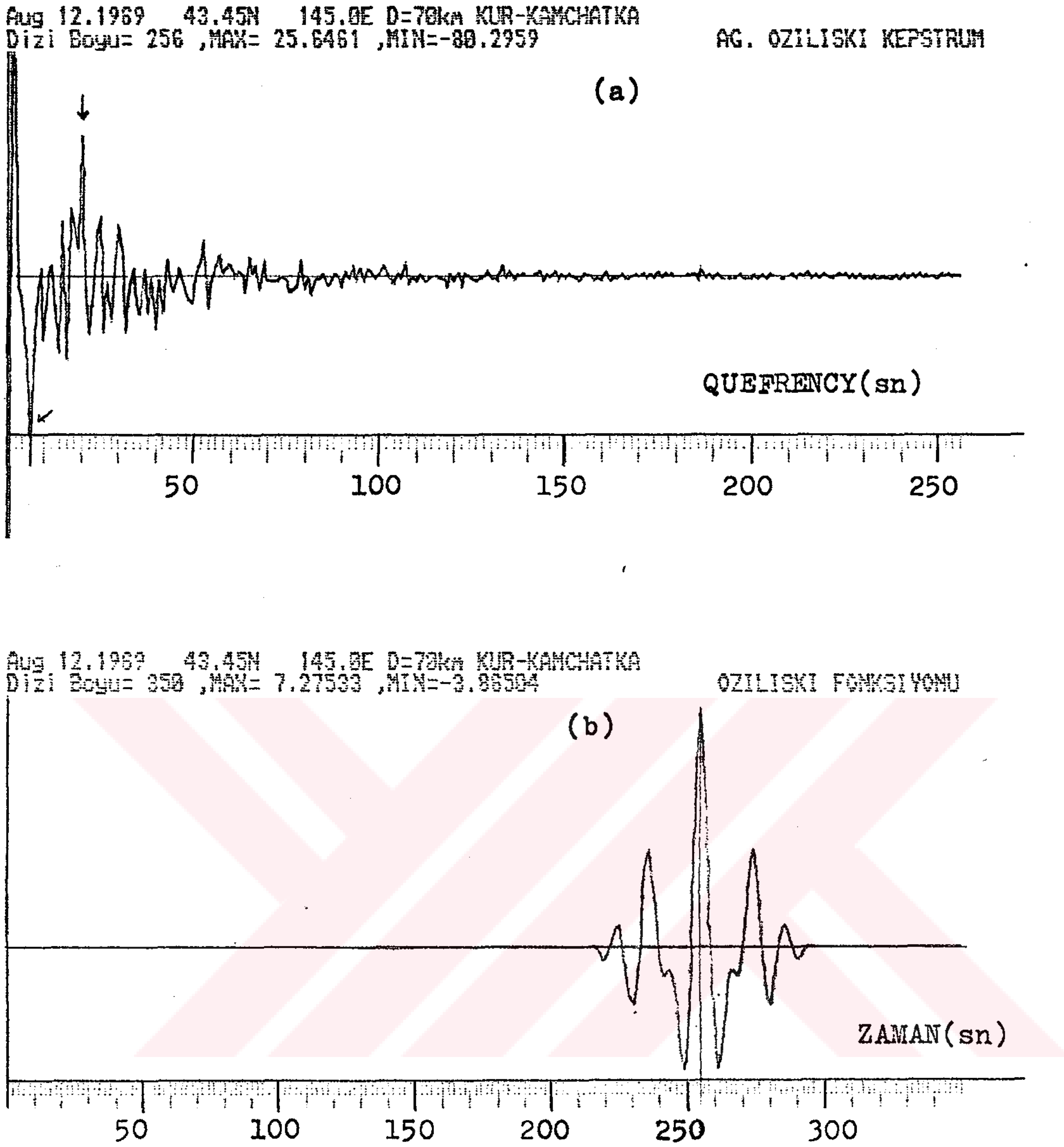
Şekil-4.41,4.42 ve 4.43'te bu depreme ait sismogramı ve yapılan spektral analiz çalışmaları görülmektedir. Şekil-4.41'de ki güç kepstrumlarına baktığımızda 6sn ve 20sn civarında belirgin pikler görebilmekteyiz. Ağırlıklandırılmış veri üzerinde hesaplanmış güç kepstrumunda 6 sn ve 20 sn'de bu pikleri yine görebilmekteyiz. Dolayısıyla aradığımız fazlara ait gecikme zamanları için T_{PcP}-Tp=6 sn ve T_{pP}-Tp=20 sn diyebiliriz. Fakat Şekil-4.42'deki kompleks kepstrumları incelendiğinde bu değerlere karşılık gelen zamanlarda bu pikler görülmemektedir, dolayısıyla yorum yapmak zorlaşmaktadır. Diğer taraftan bu depremin özilişki kepstrumuna baktığımızda 6, 16, ve 20sn'lerde bazı belirgin pikler görülebilmekteyse de bunların aradığımız fazlara ait pikler olduğunu söylemek zordur. Sadece 6sn'deki pik için PcP fazına ait olduğu söylenebilir. Benzer durum Şekil-4.43b'deki özilişki fonksiyonunda da görülmektedir. Aradığımız fazlara ait gecikme zamanlarını belirlemede özilişki fonksiyonu üzerinde kesin bir yorum yapmak zordur. Bu durum pP ve PcP fazlarına ait gecikme zamanlarına yakın zamanlarda istayona gelen diğer fazların bozucu girişimlerinden kaynaklanabilir.



Şekil-4.41 12.8.1969 tarihli Kuriles-Kamchatka depreminin; (a) sismogramı, (b) güç kepstrumu, (c) ağırlıklandırılmış veri için güç kepstrumu.



Şekil-4.42 12.8.1969 tarihli Kuriles-Kamchatka depreminin; (a) kompleks kepstrumu, (b) ağırlıklandırılmış veri için kompleks kepstrumu, (c) özilişki kepstrumu.



Şekil-4.43 12.8.1969 tarihli Kuriles-Kamchatka depreminin; (a) ağırlıklandırılmış veri için öziliski kepstrumu, (b) öziliski kepstrumu.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sismolojik bir olayın derinlik bilgisinin elde edilmesinde pP ve PcP fazlarının kestirilmesi ve P fazına göre olan gecikme zamanlarının hassas belirlenmesi çok önemlidir. Bu amaçla yapılan analiz çalışmaları yapay ve gözlemsel veriler üzerinde sergilenmiştir. Kullanılan yöntemler, zaman ve frekans ortamında uygulanan yöntemler olup, zaman ortamında öziliski fonksiyonu, frekans ortamında spektral sıfırlar, güç kepstrumu, kompleks kepstrum ve öziliski kepstrumudur.

Bu teknikler özgeçmişi bilinen modeller üzerinde denenerek test edilmiş ve elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak gözlemsel veriler üzerindeki analizler değerlendirilmiştir.

Model çalışmaları ilk önce iki, daha sonra da üç olayın girişimi için yapılarak kullanılan tekniklerin bu olayları belirlemede nasıl bir çözüm verdiği izlenmiştir.

Öziliski fonksiyonundan yararlanarak girişmiş iki sinyal arasındaki gecikme zamanı, ilk sinyalin uzunluğunun yarısına eşit ve daha büyük olduğu modellerde tam olarak belirlenmektedir. Eğer gecikme zamanı ilk sinyalin uzunluğunun yarısından küçük olduğu zaman öziliski fonksiyonundan ikinci sinyalin gecikme zamanını belirlemek olayın özgeçmişini bilmeden zordur. Diğer taraftan girişen iki sinyal arasında faz farkı olduğu durumlarda öziliski fonksiyonu üzerinde gecikme zamanını belirlemek zorlaşmaktadır.

Benzer modeller kullanılarak girişim olayının frekans ortamında görünümü ve kepstrum yöntemine ışık tutması amacıyla genlik ve faz modülasyonları incelenmiştir. İki sinyalin girişiminden oluşan kompozit sinyalin genlik spektrumu üzerinde spektral sıfırlar analizi yaparak gecikme zamanını bulmak mümkündür. Diğer bir deyişle genlik spektrumu üzerinde (eğer iki sinyal arasında 180° faz farkı varsa) ilk minimuma karşılık gelen frekans dikkate alınarak gecikme zamanı belirlenebilir. Fakat ikiden fazla sinyalin girişimi durumunda kompozit sinyalin genlik spektrumu üzerinde spektral sıfırlama analizi ile gecikme zamanını belirlemek zorlaşmaktadır. Diğer taraftan girişim olayına giren sinyaller arasındaki olabilecek faz farkları da spektral sıfırlama analizinde minimumları belirlemede zorluklar çıkaracaktır.

Kepstrumu hesaplarken alınan logaritma işlemi kepstrumda harmonik delta fonksiyonlarının oluşmasına sebep olur. Ayrıca logaritma işlemi spektrumda beyazlatma etkisi yapmakta, zayıf bileşenler daha belirgin hale gelmektedir. Girişmiş iki sinyali gözönüne alırsak ilk sinyalin genlik spektrumunda enerji dar bir frekans bandında yer alırken logaritmik genlik spektrumunda enerji tüm spektrum boyunca yayılmaktadır. Girişmiş iki sinyalin kepstrumlarına bakıldığında ilk sinyalin etkisinin kepstral orjin etrafında yoğunlaştığı, yankısı (echo) olan ikinci sinyalin etkisinin tüm quefrency'lerde dağıldığı gözlenmektedir.

Güç kepstrumu echoların varış zamanlarını ve genliklerini belirlemede etkili bir yöntem olup hesaplanışında faz bilgisi kaybolduğundan dolayı dalgacık eldesi mümkün değildir. Faz bilgisinin de hesaplamaya dahil edildiği kompleks kepstrum yöntemi ile dalgacık ve yankıların dalga şekillerini elde etmek mümkündür. Bunun yanısıra faz bilgisine sahip olan kompleks kepstrum üzerinde yankıların ilk yalın sinyale göre olan faz farkları belli hata sınırları içerisinde belirlenebilir. Yapılan model çalışmalarında bu işlemlerin yapılabileceği gösterilmiştir. Önce girişmiş iki sinyal modelinde çeşitli gecikme zamanları için yapılan kepstral çalışmalarda 0.2 sn gibi küçük gecikme zamanları dahi belirlenmekte ve ilk yalın sinyal homomorfik dekonvolüsyonla ele geçirilmektedir. Elde edilen bu sonuç kepstrum yönteminin bileşenleri bilinen modeller için gecikme zamanının belirlenmesinde ne derece etkin olduğunu gösterir. Daha sonra aralarında faz farkı olan iki sinyalin girişiminden oluşan kompozit sinyalin kompleks kepstrumu incelendiğinde yankılara ait piklerde mevcut faz farkından (karışık faz) dolayı bir distorsiyon görüldü. 0° ve 180° faz farkı (in phase, out of phase) durumlarında echoların gecikme zamanı ve devirlerine karşılık gelen yerlerdeki pikler delta fonksiyonu iken karışık faz durumunda delta fonksiyonu distorsiyona uğramakta, negatif ve pozitif genliklere doğru dağılmaktadır. Bu distorsiyonun miktarı faz farkı değeri ile doğrudan ilgilidir. Yapılan model çalışmalarından elde edilen deneyimlere göre gözlemsel veriler üzerinde hesaplanan kompleks kepstrumlara bakarak pP veya PcP fazının P fazına göre ne kadar bir faz farkı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan özilişki kepstrumunun hesaplanışında faz bilgisi yitirilmiş olmasına rağmen kompleks kepstrum gibi davrandığı, echoların devirlerine karşılık gelen piklerde distorsiyon olduğu görülmektedir. Dolayısıyla özilişki kepstrumuna bakarak girişmiş sinyaller arasındaki faz farkı hakkında bilgi edinilebilir. Ayrıca özilişki fonksiyonun çift fonksiyon olmasından dolayı özilişkiden hesaplanan kepstrumda işleme giren veri boyu diğer kepstrum hesaplamalarına göre daha fazla olmakta bu da özilişki kepstrumunun ayrımlılığını arttırmaktadır.

İkiden fazla sinyalin girişimi durumunda kepstrum daha karmaşık bir durum almakla beraber gecikme zamanını belirlemede spektral sıfırlama yöntemine göre daha etkilidir. Bu durum özellikle gözlemsel veriler üzerinde yapılan çalışmalarda görülmektedir. İşlem penceresine giren olaylar ikiden fazla olup kepstrum üzerinde pP veya PcP fazının gecikme zamanını belirlemek zorlaşmaktadır. Gözlemsel veriler üzerinde pP ve PcP fazlarına ait gecikme zamanlarını belirlerken kepstrumda başka olaylara ait piklerin olduğu olduğu görülür. Bunların farklı yörüngeler takip ederek istasyona gelen diğer fazların etkisi (multiple transmission paths) veya birden fazla kaynak etkisi (multiple source effect)'nden ileri geldiği söylenebilir. Farklı yörüngeleri izleyerek gelen diğer fazların yapıcı ve bozucu girişimleri pP ve PcP'ye ait gecikme zamanlarını kepstrum yöntemiyle belirlemede olumsuz etki gösterebilirler.

Bir deprem için pP veya PcP fazlarına ait gecikme zamanlarını kepstrum veya diğer spektral analiz yöntemleri ile belirlerken o depreme ait tek bir kaydı kullanmak yeterli olmayabilir. Bir depreme ait birden fazla kaydın işleme sokulması, her bir kayıt için tüm bu spektral analiz işlemlerin yapılması ve bunlardan elde edilen sonuçların birleştirilmesiyle yapılacak olan ortak bir yorum daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

Kepstrum ortamında P fazlarına ait gecikme zamanını belirlemede verinin ağırlıklandırılması büyük bir önem taşımaktadır. Ham veri için uygun ağırlık katsayısının seçimi ayrımlılığı etkileyen öemli etkenlerden birisidir ve bu seçim büyük ölçüde deneyime dayanmaktadır.

Gözlemsel verileri işlerken veri boyunun tümünü işleme dahil edilmiştir. Sadece aranılan olayların işlem penceresinde kaldığı bir teknigin geliştirilmesi kepstrum yönteminin etkinliğini arttıracaktır.

Gözlemsel veriler üzerinde yapılan çalışmaların daha gerçekçi yorumunun bu konuda deneyimli uzmanlar tarafından yapılması daha uygun olacaktır. Özellikle kepstrum yöntemi için yapılacak olan gerçeğe yakın yerküre modelleri ve kepstrum üzerindeki etkileri incelenmesiyle bir deprem hakkında kepstrum yöntemi ile daha çok bilgi edinilebilinir.

KAYNAKLAR

Antssey, N. A. (1964). Correlations techniques- a review, Geophysics Prospect., 12, 355-382.

Backus, M. M. (1966). Telesismic Signal extraction. Procc. Roy. Soc. London, Sev. A 290, 343-367.

Berg, E. (1975). Rayleigh waves from high-gain long-period station: signal extraction, amplitude determination and seperation of overlapping wave trains, Bull. Seism. Soc. Am. 65,1761-1788.

Bogert, B.P., Healy, M.J., Tukey, J.W. (1963). The Quefrency Analysis for Echoes: Cepstrum, Pseudo-Autocovariance, Cross-Cepstrum, and Saphe cracking. In: Proceeding of the symposium on Time Series Analysis. M. Rosenblatt(Editor), John Willey and sons Inc., New York, 209-243.

Bogert, B.P., Ossanna, J.F. (1966). The Heurictics of a stationary Gaussion noise, IEEE Trans. Inf. Theory, 12, 373-380.

Bott, M. H. P. (1982). The Interior of the Earth: its structure, constitution and evolution, Edward Arnold Limited, 41 Bedford Square, London, 5-10.

Buchbinder, G.G.R. (1968). Amplitude spectra of PcP and P phases, Bull. Seism. Soc. Am.,58, 1797-1819.

Capon, J. (1971). Analysis of Rayleigh wave multipath propagation at LASA. Bull. Seism. Soc. Am., 60,1701-1731.

Chen, C. H. (1985).Digital Waveform Processing and Recognition, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, U.S.A.

Childers, B., Durling, A. (1975). Digital Filtering and Signal Processing, West Publishing Company, Boston.

Cohen, T. J. (1969). Determination of source depth by spectral pseudoautocovariance and cepstral analysis seismic data, Laboratory Report No.229, Geotech Alexandria Virginia, AD-848100.

Cohen, T. J. (1970). Source-Depth determination using spectral pseudoautocorrelation and Cepstral analysis, Geophys. Roy. Ast. Soc. 20,223-231.

Derin, H., Aşkar, M. (1979). İletişim Kuramı: Modülasyon Yöntemleri, O.D.T.Ü., Ankara.

Ezen, Ü. (1979). İstanbul (İ.T.Ü.) deprem istasyonunda kaydedilen sismik yüzey dalgalarında girişim olaylarının incelenmesi, Doktora Tezi, Maden Fakültesi Yayını, No.121.

Ezen, Ü. (1983). Girişime uğramış yapay ve gözlemsel dispersif dalgalarda gecikme zamanının saptanması, Deprem Araştırma Bülteni, 43, 5-41.

Farnbach, J. S. (1975). The complex envelope in seismic signal analysis. Bull. Seism. Soc. Am., 65(4), 951-962.

Filson, J., Mc Evilly, T. V. (1967). Love wave spectra and the mechanism of the 1966 Parkfield Sequence, Bull. Seism. Soc. Am., 57, 1245-1258.

Flinn, E. A., Cohen, T. J., Mc Cowan, D. W. (1973). Detection and analysis of multiple seismic events. Bull. Seism. Soc. Am.,63, 1921-1936.

Frazier, C. W. (1967). Fine structure of Core-Mantle boundary from PcP-P spectra, Abstract. AGU-Meet, Washington D.C. Apr., 17-20.

Guha, S. K. (1970). The effect of focal depth on spectra on P waves. I. Theoretical formulation. Bull. Seism. Soc. Am., 60, 1437-1456.

Gutenberg, B. ve Richter, C. F. (1936). On seismic waves (third paper), Beitr. Geophys.,47, 73-131.

Gutenberg, B. (1953). Wave velocities at depths between 50 and 600 kilometers, Bull. Seism. Soc. Am., 43, 223-232.

Gutenberg, B. (1959).Physics of the Earth's Interior, Acedemic Press, New York and London,240.

Hart, R. S., Anderson, D. L., Kanamori, H. (1977). The effect of attenuation on gross earth models. J. Geophys. Res., 82, 1647-1654.

Herrin, E. (1968). Introduction to "1968 seismological tables for P phases", Bull. Seis. Soc. Am., 58, 1193-1241.

Howell, B. F., Lavin, P. M., Walson, R. J., Cheng, Y.Y., Lin, J. L. (1967). Method for recognizing repeated pulse sequence in a seismogram. Journ. Geophy. Res.,72, 3225-3232.

Jeffreys, H. (1939). The times of P, S and SKS, and the velocities of P and S, Mon. Nat. R. Astr. Soc. Geophys., 4, 498-533.

Jeffreys, H. and Bullen, K.E. (1967). Seismological Tables, Brit. Assoc. Adv. Sci., London.

Kara, V., Alptekin, Ö. (1983). Girişmiş dalgalarda gecikme zamanlarının güç kepstrumu (power cepstrum) yöntemi ile saptanması, T.U.J.J.B. XII nci genel kurulunda sunulmuştur.

Kara, V. (1986). Homomorfik dekonvolüsyon yöntemi ile sismik izlerin çözümlenmesi, Doktora tezi, K.T.Ü., Trabzon.

Kara, V., Alptekin, Ö. (1987). Homomorfik dekonvolüsyonda doğrusal bileşeni giderilmiş sürekli faz eğrisinin hesaplanması, Jeofizik, 1, 19-27.

Kemerait, R. C. (1971). Signal Detection and Extraction by Cepstrum Techniques, Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida- U.S.A.

Kemerait, R. C. and Childers, D. G. (1972). Signal detection and extraction by cepstrum techniques, IEEE Trans. Inform. Theory, IT-18,745-759.

Kemerait, R. C. and Sutton, A. F. (1982). A multidimensional approach to seismic event depth estimation, Geoexploration, 20, 113-130.

Kolmogorov, A. N. (1939). Sur L' interpolation et extra-polation des suites stationnaires, C.R. Acad. Sei. Paris.

Lamb, H. (1904) On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A203,1-42.

Lehmann, I. (1936). P'. Bur. Centr. Seism. Internat. A,14,3-31.

Mohorovicic, A. (1909). das Beben vom 8.x.1909. Jb. met. Obs. Zagreb (Agram.), 9, 1-63.

Niazi, M. (1969). Source Dynamics of the Dasth-e-Bayaz Earthquake of August 31, 1968, Bull. Seism. Soc. Am., 59, 1843-1846.

Noll, A. M. (1964). Short- time spectrum and cepstrum techniques for vocal-pitch detections, J. Acoust. Soc. Amer., 36, 296-302.

Oldham, R. D. (1906). The constitution of the interior of the Earth, as revealed by earthquakes, Q, Jl geol. Soc. London, 62, 456-475.

Oppenheim, A. V. (1965). Superposition in a class of non-linear System, Technical Report, 432, MIT Res.Lab., 62.

Oppenheim, A. V., Schafer, R. W., Stockham, T. G. Jr. (1968). Nonlinear filtering of multiplied and convolved signals, Proc., IEEE, 56, 1254-1291.

Oppenheim, A. V., Schafer, R. W. (1975). Digital signal Proccessing, Prentice-Hall, Inc. New York.

Pilant, W. L., Knopoff, L. (1964). Observations of multiple seismic events. Bull. Seism. Soc. Am.,54,19-39.

Press, F. (1968). Earth models obtained by Monte Carlo inversion, J. Geophys. Res., 73, 5223-5234.

Prabhakar, J. C., Gupta, S. C. (1970). Seperation of Rayleigh and Poission density functions through homomorphic filtering, Not. Electronics conf. 605-610.

Poisson, S. D. (1823). Sur la distrubution de la chaleur Dans Les Corps Solides, J. Ec. R. Polytech, Ser. I,19,1-62.

Robinson, E. A. (1954). Predictive decomposition of time series with applications to seismic exploration, Ph. D. Thesis. M.I.T. Cambridge, Mass. also, in Geophysics, 32, 418-484.

Schwarz, H. A. (1872). Zur Integration der partiellen Differentialgleichung. J. Reine Angewandte Math., pp.218-254

Schafer, R. W. (1969). Echo removal by discrete generalized linear filtering, Tech. Report. No.466, M.I.T Res. Lab. of Elect.

Senmoto, S., Childers, D. G. (1972). Adaptive decomposition of a composite signal of identical unknown wavelets in noise, IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., SMC-2, 59-66.

Silvia, M. T., Robinson, E. A. (1978). Use of the cepstrum in signal analysis, Geoexploration, 16, 55-78.

Somerwille, P. G., Wiggins, R. A., Ellis, R. M. (1976). Time domain determination of earthquake fault parameters from short period P-waves, Bull. Seism. Soc. Am.,66,1416-1484.

Stoffa, P., Buhl, P., Bryan, G. M. (1974). The applications of homomorphic deconvolution to shallow water marine seismology, Geophysics, 39, 401-416.

Szegö, G. (1915). Ein granzwerstsatz über die Toeplitzschen determinanten einer reelen pozitiven function, Math. Ann., 76, 490-503.

Tribolet, J.M. (1977). A new phase unwrapping algorithm, IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proccesing, ASSP-25, 176-177.

Tribolet, J. M. (1978). Application of short-time homomorphic signal analysis to seismic wavelet estimation, Geoexploration, 16,25-96.

Ulrych, T. J. (1971). Application of homomorphic deconvolution to seismology, Geophysics, 36(4), 650-660.

Ulrych, T. J. (1972). Homomorphic deconvolution of some telesismic events. Bull. Seism. Soc. Am. 62, 1253-1265.

Wiggins, R. A. (1969). Monte Carlo inversion of body wave observations, J. Geophys. Res., 74, 3171-3181.

Wu, F. T. (1968). Parkfield earthquake of June 28, 1966, Magnitude and source mechanism. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 689-709.

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Gaziantep'in Kilis ilçesinde doğan Hüseyin GÖKALP ilk ve orta öğrenimini Kilis'te yapmıştır. 1981 yılında Kilis Lisesinden mezun olduktan sonra 1981-1982 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı ve 1985-1986 öğrenim yılında Jeofizik Mühendisi olarak mezun oldu. Lisans öğrenimi esnasında Türkiye Eğitim Vakfından (TEV) burs aldı. 1986 yılında yine aynı bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.