

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİYLE GİRİŞMİŞ CİSİM
DALGALARININ BİRBİRİNDEN AYIRT EDİLMESİ VE GİRİŞİM
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Murat ÖZKAPTAN

**TEMMUZ 2006
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİYLE GİRİŞMİŞ CİSİM
DALGALARININ BİRBİRİNDEN AYIRT EDİLMESİ VE GİRİŞİM
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Jeofizik. Müh. Murat ÖZKAPTAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeofizik Yüksek Mühendisi“
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.06.2006

Tezin Savunma Tarihi : 13.07.2006

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Hüseyin GÖKALP

Jüri Üyesi : Doç.Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Nilgün SAYIL

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. E. Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

“Spektral Analiz Yöntemleriyle Girişmiş Cisim Dalgalarının Birbirinden Ayırt Edilmesi Ve Girişim Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı bu araştırma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır.

Tez için kullanılacak olan gerçek veriler KTÜ “TBZ” deprem istasyonunda 2 adet ve “Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü” 24 adet deprem istasyonu verisi kullanılmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun seçilmesinde, planlanmasında ve çalışmaların yürütülmesinde her türlü yardım, ilgi ve desteğini gördüğüm tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÖKALP’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince yardımlarını ve zamanını esirgemeyen, tez için kullanılan gerçek deprem verilerinin sağlanmasında yardımcı olan Sayın Alev BERBEROĞLU’na teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yazım ve düzenlenmesinde yardımcı olana İnş. Yük. Müh. Ali Recai YILDIZ’a, çalışmam süresince her zaman manevi desteğini hissettiğim Mak. Müh. Fatmanur İSLAMOĞLU’na, Seymen ÖZTÜRK’e ve Murat TOMAÇ’a sonsuz şükranlarımı sunarım. Diğer taraftan burada ismini sayamayacağın öncelikli olarak bölüm çalışanları ve diğer tüm kişilere de teşekkürler.

Bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, en zor anlarımda bile yanımda olduklarını bildiğim aileme teşekkür ederim.

Murat ÖZKAPTAN

Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XXIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XXIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Veri, Sinyal Ve Sistem Kavramı	3
1.3. Bir Sinyalin Temel Parametreleri.....	5
1.4. Verilerin Sınıflandırılması.....	7
1.4.1. Periyodik Veriler	7
1.4.2. Rastgele Veriler	8
1.4.3. Geçici Veriler	10
1.5. Sistem	10
1.6. Jeofiziksel Veriler.....	11
1.7. Sismik Dalga Fazları Ve Temel Özellikleri	12
1.7.1. Telesismik Depreme Ait Bir Sismogram Kayıtı Üzerinde Karşılaşılabilecek İlk Birkaç Deprem Fazı.....	12
1.8. Birbirleriyle Girişime Uğramış/Uğratılmış Gözlemsel/Yapay Sismik Dalgalarının Spektral Analiz Yöntemleriyle Gecikme Zamanları ve Faz Farkı Bilgilerini Elde Edilmesi.....	14
1.8.1. Öz-İlişki Yöntemi	16
1.8.2. Spektral Sıfırlar (Nulls) Yöntemi	19
1.8.3. Kepstrum Yöntemi	25
1.8.3.1. Klasik Kepstrum.....	27
1.8.3.2. Öz-ilişki Kepstrumu	31
1.8.3.3. Kompleks Kepstrum.....	32
1.8.4. Kaynak Fonksiyonunun Elde Edilmesi	34

1.8.4.1.	Tarak (Comb) Filtreleme	34
1.8.4.2.	Alçak Geçişli (Short-pass) Filtreleme	36
1.8.4.3.	Yüksek Geçişli (Long-pass) Filtreleme	37
1.8.5.	Kepstral F-istatistik Yöntemi ve Gelişimi	38
1.8.5.1.	Kepstral F-istatistik	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1.	Yapay Sinyaller Üzerinde Yapılan Çalışmalar.....	41
2.1.1.	Öz-İlişki Yöntemi	41
2.1.2.	Spektral Sıfırlar (Nulls) Yöntemi Uygulamaları	55
2.1.3.	Kepstrum Yöntemi Uygulamaları	61
2.1.3.1.	Yalın Sinyal Ve Yankısı Arasındaki Farklı Faz Farkları İçin Kepstral Analiz	63
2.1.3.2.	Frekans İçeriği Hafifçe Değiştirilmiş (Dalga Şekli Değiştirilmiş) Kaynak Ve Bir Yankılı Modeller İçin Kepstrum Sonuçları	72
2.1.3.3.	Gürültülü Model Çalışmaları.....	79
2.1.3.3.1.	Beyaz Gürültü.....	79
2.1.3.3.2.	Renkli Gürültü	81
2.1.3.4.	Ağırlıklandırılmış Kepstrum Yöntemi	87
2.1.3.5.	Kaynak Fonksiyonunun Elde Edilmesi	88
2.1.3.6.	Karmaşık Kaynaklı Deprem Modeli	102
2.1.3.7.	Üç Bileşenli Dalga Formu İçin Kepstrum Sonuçları.....	108
2.1.3.7.1.	Farklı Gecikme Zamanları İçin.....	108
2.1.3.7.2.	Farklı Faz Gecikmelerine Sahip İki Yankılı Toplam Sinyal	110
2.1.3.7.3.	Farklı Frekans İçeriğine Sahip İki Yankılı Model.....	116
2.1.3.7.4.	Üç Adet Sinyal İçin Gürültülü Model Çalışmaları.....	122
2.1.3.7.4.1.	Beyaz Gürültü.....	122
2.1.3.7.4.2.	Renkli Gürültü	127
2.1.3.8.	Kesme Etkisinin Araştırılması.....	132
2.1.4.	Kepstral F-İstatistik Uygulamaları	141
2.1.4.1.	Gürültüsüz Veriler Üzerinde Kepstral F-istatistik Uygulaması	142
2.1.4.2.	Gürültülü Veriler Üzerinde Kepstral F-istatistik	146
2.1.4.3.	Pencereleme İşlemi Sonrası Kepstral F-istatistik.....	150
2.1.4.4.	Filtreleme Sonrası Kepstral F-istatistik	154
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR (GERÇEK VERİLER ÜZERİNDE).....	162

3.1.	Kepstral F-istatistik Uygulaması	202
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	224
4.1.	Yapay Modeller Üzerinde Yapılan Çalışmalar	224
4.1.1.	Öz-ilişki Sonuçları.....	224
4.1.1.1.	Farklı Gecikme Zamanları İçin Öz-ilişki Sonuçları	224
4.1.1.2.	Kaynak İle Yankıları Arasındaki Faz Farkları İçin Öz-ilişki Sonuçları	225
4.1.1.3.	Farklı Gürültü Oranları İçin Öz-ilişki Sonuçları	225
4.1.2.	Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları.....	226
4.1.2.1.	Farklı Gecikme Zamanları için Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları	226
4.1.2.2.	Farklı Gürültü Oranları İçin Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları	226
4.1.3.	Kepstrum Sonuçları	227
4.1.3.1.	Farklı Gecikme Zamanları İçin Kepstrum Sonuçları	227
4.1.3.2.	Farklı Faz Bileşenli Kaynak Ve Yankısından Oluşan Modeller İçin Kepstrum Sonuçları.....	227
4.1.3.3.	Frekans İçeriği Hafifçe Değiştirilmiş Kaynak Ve Yankısından oluşan Modeller İçin Kepstrum Sonuçları	227
4.1.3.4.	Gürültülü Modeller İçin Kepstrum Sonuçları.....	228
4.1.3.5.	Ağırlıklandırılmış Kepstrum Sonuçları	228
4.1.3.6.	Kaynak Fonksiyonu Elde Etme Sonuçları.....	229
4.1.3.7.	Karmaşık Kaynaklı Fonksiyonlar İçin Kepstrum Sonuçları.....	229
4.1.3.8.	Bir Kaynak Ve İki Yankısından Oluşan Dalga Formu İçin Kepstrum Sonuçları.....	229
4.1.3.9.	Pencere Boyunun Kepstrum İşlemi Üzerine Etkisi	230
4.1.3.10.	Kepstral F-İstatistik Uygulama Sonuçları	230
4.1.3.10.1.	Farklı Gecikme Zamanlı Dalgalar İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları.....	230
4.1.3.10.2.	Gürültü İçeren Dalga Formları İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları.....	231
4.1.3.10.3.	Pencereleme İşlemiyle Gürültülü Veriler İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları.....	231
4.1.3.10.4.	Filtreleme Sonrası Gürültülü Veriler İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları.....	231
4.1.2.	Gerçek Veriler Üzerinde Yapılan Çalışmalar	230
5.	SONUÇLAR.....	234
6.	ÖNERİLER	237
7.	KAYNAKLAR.....	238

8.	EKLER.....	242
	ÖZGEÇMİŞ.....	242

ÖZET

Depremler yerin içyapısı hakkında bizlere önemli bilgiler veren doğal olaylardır. Bir deprem sonucunda kayıt istasyonlarında sayısız deprem fazı kayıt edilir. Bu deprem fazlarının özelliklerinden yararlanılarak o deprem ve deprem fazlarının geçtikleri ortamlar hakkında bilgiler elde edilir. Bu bilgiler istasyonlarda kayıt edilen deprem fazlarının özelliklerine göre (fazların birbirlerine göre zamansal ve şekilsel farklılıkları) değişmektedir. Yıllardır, deprem kayıtları üzerinde çok çeşitli spektral analiz uygulamaları gerçekleştirilmekte olup, bu analizlerden deprem fazları arasındaki ilişkiler çıkartılmaya çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yapay olarak oluşturulan sismogramlar üzerinde esasen üç spektral analiz yöntemi (“Öz-ilişki fonksiyonu”, “spektral sıfırlar” ve “kepstrum” teknikleri) uygulanarak girişmiş P dalgası fazlarının ayrımı araştırılmaktadır. Yapay sismogramlar oluşturulurken P cisim dalgalarını en iyi temsil ettiği kabul edilen “Berlage fonksiyonu” kullanılmıştır. Bu fonksiyon yardımıyla, bir kaynak ve bunun bir ya da iki yankısının değişik gecikme zamanları için girştirilerek elde edilen toplam dalgalar yani yapay sismogramlar oluşturulmuştur. Daha sonra bu sismogramlar üzerinde üç analiz yöntemi uygulanarak her bir yöntemin faz ayırımındaki gücü sınanmıştır. Daha sonra yapay sismogramlara değişik oranlarda gürültüler eklenip ve ayrıca girişen fazlar arasında farklı faz kayması değerleri oluşturularak, bu durumlar için de çözümler irdelenmiştir. Daha sonra sismik bir yerel ağ tarafından kayıt edildiği farz edilen yapay sismogramlar için ayrı ayrı bulunan kepstrum sonuçları üzerine, istatistiksel olarak “kepstral F-istatistik” adı verilen bir uygulama da gerçekleştirilmiştir.

Burada gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar, IASP’91 modeline göre bulunacak sonuçlarla karşılaştırılarak, yöntemlerin uygulanabilirliği irdelenmiştir. Burada kullanılan veriler üzerinde kepstrum çalışmalarının iyi sonuçlar verdiği ve bir depremin yerel bir istasyon ağında kayıtları olması durumunda kepstral F-istatistik yönteminin de sonuçları daha belirginleştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kepstrum, Kepstral F-istatistik, Faz Ayrışimleri, Spektral Analiz

SUMMARY

Discrimination and Investigation of Interfered Body waves by Spectral Analysis Techniques

Earthquakes are natural events which we can obtain important information about depth structure of the earth. The recorded earthquake at the stations contains a lot of Earthquake phases (e.g. P, pP and PcP) which are mostly interfered to each other. These earthquake records imply some valuable information about both the earthquake and underground where the earthquake phases passes. The information can be retrieved from the seismograms depends on the characterizations of the earthquake phases such as delay times of interfered phases and its waveform. Some special spectral techniques as Cepstrum have been developed and investigated for the interfered body waves in the seismograms in order to obtain the relationship between the interfered phases for the years.

In this dissertation, The discrimination of the interfered P phases are conducted by using mainly three methods “auto-correlation”, “spectral nulls”, “cepstrum” applying on both theoretical seismograms and teleseismic records. Berlage function has been used in model studies to represent teleseismic data. The model contains one or two echoes of the source and different delay times. Phase differences between the components of the model were also tested as well as delay times. We have also tested the techniques in case of the synthetic seismograms contains noise. For this reason, By adding varies amount noise and phase differences on composite waves, solutions were investigated. Cepstral F-statistic was carried out on cepstrum results which were obtained from synthetic data group. The data group was assumed that it acquired from a seismic local networks.

The results obtained from this study were compared to IASP91 model and tested its reliabilities. Cepstral techniques are very efficient in determining arrival times and amplitudes of the wavelet and its echoes. Cepstral F-statistic method also improves the result in case of local network data that an event recorded at various stations in the network.

Keywords: Cepstrum, Cepstral F-Statistic, Phase Decomposition, Spectral Analyses

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Ayrık ve sürekli sinyallerin grafiksel gösterimi	4
Şekil 2. Gürültülü bir verinin oluşturulması	5
Şekil 3. Frekansı ve dalga sayısı 10 Hz ve 10 m^{-1} olan bir sinüzoidal sinyalin, zaman-frekans ve uzaklık-dalga sayısı ortamlarındaki görünümü	6
Şekil 4. Testere şeklinde $T = 0.05 \text{ sn}$ ve $f = 20 \text{ Hz}$ 'lik periyodik bir fonksiyonun gösterimi	8
Şekil 5. Rastgele veri (normal dağılımlı bir gauss gürültüsü)	9
Şekil 6. Geçici (transient) bir veri örneği	9
Şekil 7. Basit bir sistemin görünüşü	10
Şekil 8. Doğrudan ve yansımaya uğramış ışın yollarının mantoda yayılım yolları Düz çizgiler P dalgasını, kesikli çizgiler ise S dalgasını göstermektedir. Dalgalar D ile gösterilen merkezden, P ve S dalgaları olarak yayılırlar. Şekildeki farklı dokular yerin farklı tabakalarını göstermektedir. [3].....	13
Şekil 9. Derinlik fazlarına ait dalga yayılım yollarının gösterilmesi. [3].....	13
Şekil 10. Cisim dalgalarını temsilen oluşturulan yapay bir sismogram kaydı örneği	14
Şekil 11. Şekil 10'da verilen sentetik sismogramın oluşturulmasında kullanılan bileşenler, a) Kaynak (Berlage fonksiyonu), b) Yankı, c) Eklenilen gelişigüzel gürültü	15
Şekil 12. $T = 5 \text{ sn}$ periyoduyla yinelenen (1,2,3) dalgacığının gösterimi	16
Şekil 13. $T = 5 \text{ sn}$ periyoduyla yinelenen (1, 2, 3) dalgacığının öz-ilişki sonucunda gösterimi (pozitif taraf).....	17
Şekil 14. Bir kaynak ve yankısından oluşmuş bir dalgacığa ait öz-ilişki fonksiyonunun gösterimi	18
Şekil 15. Aralarında dt kadar gecikme olan iki sinyalin toplamından oluşan girişmiş bir sinyale ait genlik ve faz modülasyonları [5].....	22
Şekil 16. 5 sn gecikmeli ve %10 gürültülü bir sinyalin genlik spektrumu. Halkalar genliğin maksimum olduğu yerleri göstermektedir.	24
Şekil 17. Spektral sıfırlar yönteminin analitik gösterimi [9].....	24
Şekil 18. Klasik kepstrum için akış diyagramı	30
Şekil 19. Öz-ilişkiden hesaplanan kepstrum için akış diyagramı	31
Şekil 20. Kompleks kepstrum için akış diyagramı	33

Şekil 21. Tarak fonksiyonuyla filitreleme. a) Kompozit dalganın kompleks kepstumu, b) Uygun hazırlanmış bir tarak fonksiyonu, c) Tarak fonksiyonuyla kompleks kepstumun çarpılması, d) Çarpma işleminden sonra fonksiyonun düzgünleştirilmesi [16].....	34
Şekil 22. Alçak geçişli filitreleme. a) Kompozit dalganın kompleks kepstumu, b) Uygun bir alçak geçişli filtre fonksiyonu, c) Alçak geçişli filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstum sonucu [16]	36
Şekil 23. Yüksek geçişli filitreleme. a) Kompozit dalganın kompleks kepstumu, b) Uygun bir yüksek geçişli filtre fonksiyonu, c) Yüksek geçişli filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstum sonucu [16].....	37
Şekil 24. a) Kaynak dalgacığı, b) Yankısı ve c) Toplam sinyal	42
Şekil 25. Kaynak ve bir yankısından oluşan, farklı girişme zamanlarına sahip sinyaller için, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn ($dt=$ kaynak ile birinci yankısının gecikme farkı, $dt_2=$ kaynak ile ikinci yankısının gecikme zamanını gösterir) öz-ilişki fonksiyonları.....	43
Şekil 26. Kaynak ve iki yankısından oluşan, farklı girişme zamanlarına sahip sinyaller için, a) $dt_1=5$ sn $dt_2=10$ sn, b) $dt_1=5$ sn $dt_2=8.5$ sn, c) $dt_1=5$ sn $dt_2=7.5$ sn, d) $dt_1=5$ sn $dt_2=7$ sn, e) $dt_1=5$ sn $dt_2=6$ sn, f) $dt_1=5$ sn $dt_2=5.5$ sn ($dt_1 =$ kaynak ile birinci yankısının gecikme farkı, $dt_2=$ kaynak ile ikinci yankısının gecikme zamanını gösterir) öz-ilişki fonksiyonları	44
Şekil 27. a) Değiştirilmiş kaynak dalgacığı, b) Yankısı, c) Toplam sinyal.....	46
Şekil 28. Bir kaynak ve yankısından oluşan değiştirilmiş kaynak dalgacığı için farklı gecikme zamanlı, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn ($dt=$ kaynak ile yankısı arasındaki gecikme zamanı farkı) öz-ilişki fonksiyonları.....	47
Şekil 29. a) Sıfır faz kaymalı kaynak dalgacığı, b) 90^0 faz kaymalı yankısı ve, c) ikisinin giriştirilmesiyle oluşturulan toplam sinyal	49
Şekil 30. 5 sn gecikmeli kaynak ve değişik oranlarda faz bileşeni içeren yankısından oluşan toplam dalgacığa, a) $dt =5$ sn, faz = 0, b) $dt =5$ sn, faz = 45, c) $dt =5$ sn, faz = 90, d) $dt =5$ sn, faz = 135, e) $dt =5$ sn, faz = 180, f) $dt =5$ sn, faz = 270 ait öz-ilişki fonksiyonları.....	51
Şekil 31. a) %5 gürültülü eklenmiş kaynak dalgacığı, b) % 5 gürültülü eklenmiş yankısı c) bu iki dalgacığın girişiminden oluşan toplam sinyal	52
Şekil 32. Aralarında 5 sn gecikme olan bir kaynak ve yankısından oluşan değişik gürültü oranlarına sahip toplam dalga sinyalleri için öz ilişki sonuçları, a) tüm veri boyu için, b) genişletilmiş gösterim	53
Şekil 33. Aralarında 5 sn gecikme olan bir kaynak ve yankısından oluşan değişik gürültü oranlı toplam dalga sinyalleri için öz ilişki sonuçları a) geniş zaman ölçeğinde gösterim, b) kısa zaman ölçeğinde gösterim.....	54
Şekil 34. Farklı gecikme değerlerine sahip kaynak ve bir yankısından oluşan toplam sinyal için genlik spektrumu değerleri, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=5$ sn gecikme zamanları için.....	57

Şekil 35. Şekil 34'deki genlik spektrumlarından yararlanarak değişik gecikme değerleri için hesaplanan spektral sınırlar ve kestirilen gecikme zamanı değerleri, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn gecikme zamanları için	58
Şekil 36. Değişik gürültü oranlarına sahip aralarındaki gecikme zamanı 5 sn olan bir kaynak ve bir yankısından oluşan toplam dalgalar için genlik spektrumları, a) $dt=5$ sn %5 gürültülü, b) $dt=5$ sn %10 gürültülü, c) $dt=5$ sn %20 gürültülü, d) $dt=5$ sn %30 gürültülü, e) $dt=5$ sn %40 gürültülü, f) $dt=5$ sn %50 gürültülü .	59
Şekil 37. Şekil 36'daki genlik spektrumlarından yararlanarak sabit gecikme değerleri ($dt=5$ sn) ve farklı gürültü içerikleri için hesaplanan spektral sınırlar ve kestirilen gecikme zamanı değerleri, a) %5 gürültülü, b) %10 gürültülü, c) %20 gürültülü, d) %30 gürültülü, e) %40 gürültülü, f) %50 gürültülü	59
Şekil 38. Kaynak ve 3 sn gecikmeli yankısından oluşan toplam sinyal	61
Şekil 39. Farklı gecikme zamanlarına sahip kaynak ve yankısından oluşan toplam sinyalin kepekstrum sonuçları, a) $dt= 5$ sn, b) $dt= 2.5$ sn, c) $dt= 1$ sn, d) $dt= 0.5$ sn gecikme zamanları için.....	62
Şekil 40. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 45^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	64
Şekil 41. Şekil 40'daki gibi 45^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) sinyalin kepekstrum sonuçları	64
Şekil 42. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 90^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	65
Şekil 43. Şekil 42'deki gibi 90^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) sinyalin kepekstrum sonuçları	65
Şekil 44. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 135^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	66
Şekil 45. Şekil 44'deki gibi 135^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) sinyalin kepekstrum sonuçları	66
Şekil 46. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 180^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	67
Şekil 47. Şekil 46'daki gibi 180^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) dalgacığın kepekstrum sonuçları	67
Şekil 48. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 225^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	68
Şekil 49. Şekil 48'deki gibi 225^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) sinyalin kepekstrum sonuçları	68
Şekil 50. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 270^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	69
Şekil 51. Şekil 50'deki gibi 270^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girıştırilmiş (toplam) sinyalin kepekstrum sonuçları	69

Şekil 52. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 315^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	69
Şekil 53. Şekil 52'deki gibi 315^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girştirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları	69
Şekil 54. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 360^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal	71
Şekil 55. Şekil 54'deki gibi 360^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girştirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları	71
Şekil 56. a) MF= 0.5 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 0.75 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı.....	73
Şekil 57. Şekil 56 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu	73
Şekil 58. Şekil 56 c'deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları	74
Şekil 59. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 2 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı.....	74
Şekil 60. Şekil 59 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu	75
Şekil 61. Şekil 59 c'deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları	75
Şekil 62. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 3 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı.....	76
Şekil 63. Şekil 61 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu	76
Şekil 64. Şekil 62 c'deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları	77
Şekil 65. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 4 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı.....	77
Şekil 66. Şekil 65 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu	78
Şekil 67. Şekil 65 c'deki gibi oluşturulan toplam sinyalin kepstrum sonuçları	78
Şekil 68. Aralarındaki gecikme zamanı 5 sn olan bir kaynak ve yankıdan oluşan toplam sinyale %10 oranında gürültü eklenmesi, a) Kaynak dalgacığı, b) 5 sn gecikmeli yankısı, c) Beyaz gürültü, d) Toplam sinyal	81
Şekil 69. Beyaz gürültü ve bunun frekans ortamında bazı enerji seviyelerinin sönümlenmesi için filtreleme uygulanması, a) Beyaz gürültü, b) Beyaz gürültünün Genlik spektrumu, c) Uygulanan alçal geçişli Butterworth filtresi, d) Filtrelenmiş beyaz gürültü Genlik Spektrumu.....	82
Şekil 70. Şekil 69'da filtrelenmiş beyaz gürültünün ters Fourier dönüşümüyle zaman ortamına aktarılması, a) Kaynak dalgacığı, b) 5 sn gecikmeli yankısı, c) Renkli gürültü bileşeni, d) Renkli gürültülü toplam dalga.....	83
Şekil 71. Bir yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli bir yankıdan oluşan toplam sinyale değişik oranlarda beyaz gürültü eklenmesi durumunda kepstrum sonuçları, a) % 0.001 gürültülü veri için, b) % 0.005 gürültülü veri için, c) % 0.01 gürültülü veri için, d) % 0.05 gürültülü veri için üç farklı kepstrum sonuçları.....	84

Şekil 72. Bir yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli bir yankıdan oluşan toplam sinyale değişik oranlarda <i>renkli</i> gürültü eklenmesi durumunda kepstrum sonuçları, a) % 0.001 gürültülü veri için, b) % 0.005 gürültülü veri için, c) % 0.01 gürültülü veri için, d) % 0.05 gürültülü veri için üç farklı kepstrum sonuçları.....	85
Şekil 73. Klasik kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması, a) Klasik kepstrum sonucu, b) Ağırlık fonksiyonu, c) Ağırlıklandırılmış klasik kepstrum.	88
Şekil 74. Öz-ilişki kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması.....	88
Şekil 75. Kompleks kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması	89
Şekil 76. a) Yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu ..	92
Şekil 77. a) Yalın sinyal ve 2.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu ..	93
Şekil 78. a) Yalın sinyal ve 1 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu ..	94
Şekil 79. a) Yalın sinyal ve 0.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu ..	95
Şekil 80. Yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu	97
Şekil 81. Yalın sinyal ve 2.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu	98
Şekil 82. Yalın sinyal ve 1 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, ters kepstrum sonucu elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu	99
Şekil 83. Yalın sinyal ve 0.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu	99
Şekil 84. a) Basit deprem, b) Karmaşık deprem kaynak fonksiyonları.....	103
Şekil 85. Basit depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif quefrensy)	103

Şekil 86.	Basit bir depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif quefrensy)	104
Şekil 87.	Karmaşık depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif quefrensy)	104
Şekil 88.	Karmaşık depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif taraf)	105
Şekil 89.	a) Karmaşık kaynak fonksiyonu, b) Karmaşık kaynak fonksiyonu ve onun 5 sn gecikmeli yankısı	106
Şekil 90.	Karmaşık kaynak fonksiyonu ve yankısına ait kepstrum sonuçları (pozitif quefrensy)	106
Şekil 91.	Karmaşık kaynak fonksiyonu ve yankısına ait kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif quefrensy)	107
Şekil 92.	Üç adet sinyalden oluşturulmuş girişmiş bir dalganın oluşturulması, a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankısı, c) 2. yankısı, d) Giriştirilmiş toplam sinyal	108
Şekil 93.	Farklı gecikme zamanlarına sahip kaynak ve iki yankısından oluşan toplam sinyallere ait kepstrum sonuçları a) dt1=5 sn, dt2=8 sn, b) dt1=4 sn, dt2=8 sn, c) dt1=2 sn, dt2=4 sn, d) dt1=2 sn, dt2=3 sn (dt1 = kaynak ile 1. yankı arasındaki zaman farkı, dt2= kaynak ile 2. yankısı arasındaki fark)	109
Şekil 94.	a) Kaynak sıfır fazlı, b) İlk yankı 45 ⁰ faz farklı (kaynağa göre), c) 2. yankı 90 ⁰ faz farklı (kaynağa göre) d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal	111
Şekil 95.	Şekil 94 d' deki toplam sinyalin a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu	111
Şekil 96.	a) Kaynak sıfır fazlı, b) İlk yankı 90 ⁰ faz farklı (kaynağa göre), c) 2. yankı 180 ⁰ faz farklı (kaynağa göre) d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal	112
Şekil 97.	Şekil 96 d' deki toplam sinyalin a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu	112
Şekil 98.	a) Kaynak 45 ⁰ (Sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), b) İlk yankı 90 ⁰ faz farklı (Sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), c) 2. yankı 180 ⁰ faz farklı (sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal	113
Şekil 100.	a) Kaynak 90 ⁰ (Temel Berlage fonksiyonuna göre), b) İlk yankı 270 ⁰ faz farklı (Temel Berlage fonksiyonuna göre), c) 2. yankı 180 ⁰ faz farklı (Temel Berlage fonksiyonuna göre), d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal	114
Şekil 101.	Şekil 100 d' deki toplam sinyalin, a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu	114
Şekil 102.	a) Kaynak dalgacığı (MF = 2 Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu	116

Şekil 103. Şekil 102'deki geliştirilmiş üç adet sinyal toplamının genlik spektrumu.....	117
Şekil 104. MF değerleri 2 Hz olan üç adet sinyal toplamına ait kepstrum sonuçları.....	117
Şekil 105. a) Kaynak dalgacığı (MF = 1 Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 1.5 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu.....	118
Şekil 106. Şekil 105'deki geliştirilmiş üç adet sinyale ait genlik spektrumu	118
Şekil 107. Merkez frekans değerleri sırasıyla 1, 1.5, 2 Hz olan üç adet sinyalden oluşan toplam sinyal için kepstrum sonuçları	119
Şekil 108. a) Kaynak dalgacığı (MF 1 = Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu.....	119
Şekil109. 108'deki gibi geliştirilmiş üç adet sinyale ait genlik spektrum	120
Şekil 110. Merkez frekans değerleri sırasıyla 1, 2, 2 Hz olan üç adet sinyalden oluşan toplam sinyal için kepstrum sonuçları	120
Şekil 111. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.001 oranında beyaz gürültülü toplam sinyal.....	122
Şekil 112. Şekil 111'deki gibi oluşturulmuş modele ait dalganın kepstrumları.....	123
Şekil 113. a) Kaynak fonksiyonu, b) 1. yankı fonksiyonu, c) 2. yankı fonksiyonu, d) %0.005 beyaz gürültünün toplam sinyale eklenmesi	123
Şekil 114. Şekil 113'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin kepstrumları.....	124
Şekil 115. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.01 beyaz gürültülü toplam sinyal.....	124
Şekil 116. Şekil 115'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin kepstrumları.....	125
Şekil 117. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.05 beyaz gürültülü toplam sinyal.....	125
Şekil 118. Şekil 117'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin kepstrumları.....	126
Şekil 119. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı (4sn gecikmeli), c) 2. yankı dalgacığı (6 sn gecikmeli), d) %0.001 renkli gürültü e) Toplam sinyal.....	127
Şekil 120. Şekil 119'daki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları	128
Şekil 121. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.005 renkli gürültü e) Toplam sinyal	128
Şekil 122. Şekil 121'deki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları	129
Şekil 123. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.01 renkli gürültü e) Toplam sinyal.....	129
Şekil 124. Şekil 123'deki gibi oluşturulmuş modele ait dalganın kepstrumları.....	130
Şekil 125. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.05 renkli gürültü, e) Toplam sinyal.....	130
Şekil 126. Şekil 125'deki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları	131

Şekil 127. a) İki adet sinyalden oluşan toplam sinyal, b) 14 sn'lik dikdörtgen pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	132
Şekil 128. Şekil 127 c'de oluşturulmuş olan 14 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	133
Şekil 129. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 13 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	133
Şekil 130. Şekil 129'da oluşturulmuş olan 13 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	134
Şekil 131. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 12 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	134
Şekil 132. Şekil 131'de oluşturulmuş olan 12 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	135
Şekil 133. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 11 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	135
Şekil 134. Şekil 133'de oluşturulmuş olan 11 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	136
Şekil 135. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 10 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	136
Şekil 136. Şekil 135'te oluşturulmuş olan 10 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	137
Şekil 137. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 9 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	137
Şekil 138. Şekil 137'de oluşturulmuş olan 9 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	138
Şekil 139. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 8 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal.....	138
Şekil 140. Şekil 139'da oluşturulmuş olan 8 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları.....	139
Şekil 141. Üç istasyona ait yapay sismogram (gecikme zamanı 8 sn).....	142
Şekil 142. Şekil 141'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı.....	143
Şekil 143. Şekil 141'deki modele ait yapılan kepstral F-İstatistik sonucu.....	143
Şekil 144. Üç istasyona ait yapay sismograf kaydı (gecikme zamanı 3 sn).....	144

Şekil 145. Şekil 144'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsrumlarının toplamı.....	144
Şekil 146. Şekil 144'deki modele ait yapılan kepsral F-İstatistik sonucu.....	145
Şekil 147. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogram (yankıya ait gecikme zamanı 8 sn, toplam % 0.05 gürültülü eklenmiş)	146
Şekil 148. Şekil 147'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsrumlarının toplamı.....	147
Şekil 149. Şekil 147'deki modele ait kepsral F-İstatistik sonucu	147
Şekil 150. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogram (yankıya ait gecikme zamanı 3 sn, toplam %0.05 gürültülü eklenmiş)	148
Şekil 151. Şekil 150'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsrumlarının toplamı.....	148
Şekil 152. Şekil 150'deki modele ait kepsral F-İstatistik sonucu	149
Şekil 153. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogramın Butterworth penceresi ile pencerelenmesi (gecikme zamanı 8 sn, %0.05 gürültülü).....	150
Şekil 154. Üç farklı istasyona ait sinyallerin pencerelendikten sonra gösterimi.....	151
Şekil 155. Şekil 154'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) Tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsrumlarının toplamı.....	151
Şekil 156. Şekil 154'deki modele ait kepsral F-İstatistik sonucu	152
Şekil 157. Üç farklı istasyona ait sinyallerin pencerelendikten sonra gösterimi (gecikme zamanı 3 sn, %0.05 gürültülü).....	152
Şekil 158. Şekil 157'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) Tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsrumlarının toplamı.....	153
Şekil 159. Şekil 157'deki modele ait kepsral F-İstatistik sonucu	153
Şekil 160. 1. İstasyon için filtreleme işleminin gösterimi (gecikme zamanı $dt=8$ sn), a) 1. istasyon kaydı, b) 1. istasyon kaydının genlik spektrumu, c) Butterworth alçak geçişli süzgeci	155
Şekil 161. Filtrelemeden önce ve sonraki genlik spektrumları ve süzölmüş veri, a) 1. istasyona ait kaydın genlik spektrumu, b) Filtrelendikten sonraki genlik spektrumu, c)Filtrelenmiş kayıt.....	155
Şekil 162. Gürültü içeren üç adet istasyona ait yapay sismogram örneği, a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=8$ sn, %0.05 gürültülü)	156

Şekil 163. Gürültü içeren kayıtlar filtrelendikten sonra yapay sismogram örneği a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=8$ sn)	156
Şekil 164. Gürültüleri filtrelenmiş üç istasyona ait verilerin klasik kepstrum sonuçları a) 1. istasyon kepstrumu, b) 2. istasyon kepstrumu, c) 3. istasyon kepstrumu, d) Toplam mutlak değer kepstrumu (gecikme zamanı 8 sn)	157
Şekil 165. Süzülmüş istasyon verilerine uygulanan kepstral F-İstatistik yöntemi sonuçları, düz çizgiler tekil, kesikli çizgiler toplam kepstrumu gösterir, gecikme zamanı $dt=8$ sn).....	157
Şekil 166. Gürültü içeren üç adet istasyona ait yapay sismogram örneği a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=3$ sn, %0.05 gürültülü)	158
Şekil 167. Gürültü içeren kayıtlar filtrelendikten sonra yapay sismogram kayıt örneği a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=3$ sn)	158
Şekil 168. Gürültüleri filtrelenmiş üç istasyona ait verilerin klasik kepstrum sonuçları a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=3$ sn)	159
Şekil 169. Süzülmüş istasyon verilerine uygulanan kepstral F-İstatistik yöntemi sonuçları, düz çizgiler tekil, kesikli çizgiler toplam kepstrumu gösterir, (gecikme zamanı $dt=3$ sn)	159
Şekil 170. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=50^0.1$)	164
Şekil 171. Şekil 170 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	165
Şekil 172. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi, b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=50^0.1$)	165
Şekil 173. Şekil 172 c’deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	166
Şekil 174. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=50^0.1$) ...	166
Şekil 175. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=53^0.6$)	168
Şekil 176. Şekil 175 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	169
Şekil 177. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=53^0.6$)	169

Şekil 178. Şekil 177 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	170
Şekil 179. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=53^0.6$) ...	170
Şekil 180. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=55^0.1$)	173
Şekil 181. Şekil 180 b'de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	174
Şekil 182. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=55^0.1$)	174
Şekil 183. Şekil 182 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	175
Şekil 185. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=60^0.8$)	177
Şekil 186. Şekil 185 b'de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	177
Şekil 187. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=60^0.8$)	178
Şekil 188. Şekil 187 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	178
Şekil 189. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=60^0.8$) ...	179
Şekil 190. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=71^0.6$)	180
Şekil 191. Şekil 190 b'de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	181
Şekil 192. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=71^0.6$)	181
Şekil 193. Şekil 192 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	182

Şekil 194. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=71^0.6$) ...	182
Şekil 195. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=92^0.1$)	184
Şekil 196. Şekil 195 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	184
Şekil 197. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=92^0.1$)	185
Şekil 198. Şekil 197 c’deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	185
Şekil 199. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=92^0.1$) ...	186
Şekil 200. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=92^0.6$)	187
Şekil 201. Şekil 200 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum	187
Şekil 202. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=92^0.6$)	188
Şekil 203. Şekil 202 c’deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri	188
Şekil 204. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=92^0.6$) ...	189
Şekil 206. Banda Sea depremi ile K.T.Ü. “TBZ” kayıt istasyonu arasındaki episantr mesafesini gösteren harita ($\Delta=94^0.3567$).....	193
Şekil 207. Banda Sea depremi K.T.Ü. “TBZ” istasyonu kaydı a) Uzun süreli(tüm kayıt), b) Kısa süreli düşey bileşen kaydı(ilk 1500 sn’lik kısmı).....	193
Şekil 208. Banda Sea depremine ait, a) Orjinal kayıt, b) Spline interpolasyonu yapılmış kayıt (kayıt üzerinde IASP91’e göre olması gereken fazlar işaretlenmiştir).....	194
Şekil 209. Banda Sea depremine ait a) 208 a’daki şekle ait genlik spektrumu, b)Uygulanan alçak geçişli Butterworth filtresi, c) Uygulanan yüksek geçişli Butterworth filtresi, d) Filtreleme sonrası genlik spektrumu	194
Şekil 210. Banda Sea depremine ait P fazları kaydının a) Filtrelendikten sonraki durumu b) Spline interpolasyonu uygulanmış hali, c)Tukey penceresi, d) Pencerelemiş ve süzölmüş Banda Sea depremi kaydı.....	195

Şekil 211. Şekil 210 d'deki kayıt için, a) Klasik kepstrum, b)Kompleks (negatif quefrensy) kepstrum, c) Öz-ilişki kepstrumu d) Klasik kepstrumun mutlak değeri.....	195
Şekil 212. Banda Sea depremine ait a) Pencerelememiş veri için öz-ilişki fonksiyonu, b) Pencerelemiş veri için öz-ilişki fonksiyonu	196
Şekil 213. Hindukuş depremi ile K.T.Ü. "TBZ" kayıt istasyonu arasındaki episantr mesafesi ($\Delta=24^0.54$)	198
Şekil 214. Hindukuş depremi K.T.Ü. "TBZ" istasyonu a) Uzun süreli, b) Kısa süreli düşey bileşen kaydı.....	199
Şekil 215. Hindukuş depremine ait, a) P dalga fazlarını içeren orijinal kayıt, b) Spline interpolasyonu alınmış P dalga fazları içeren kayıt.....	199
Şekil 216. Hindukuş depremine ait a) Genlik spektrumu, b) Alçak Geçişli Butterworth filtresi, c) Yüksek Geçişli Butterworth filtresi, d) Filtreleme sonrası genlik spektrumu	198
Şekil 217. Hindukuş depremine ait P fazlarının a) Filtrelenmiş veri, b) Spline interpolasyonu uygulanan kayıt, c)Uygulanan Tukey penceresi, d) Pencerelemiş Hindukuş depremi kaydı	198
Şekil 218. Hindukuş depreminin P dalga fazlarına ait a) Klasik, b) Kompleks (negatif quefrensy), c) Öz-ilişki kepstrumu, d) Klasik kepstrumun mutlak değeri	199
Şekil 219. Hindukuş depremine ait a) Pencerelememiş veri için öz-ilişki fonksiyonu, b) Pencerelemiş veri için öz-ilişki fonksiyonu	199
Şekil 220. 24 Aralık 2004 Sumatra Depremi ve Türkiye'de kayıt edilmiş istasyonlara olan episantr uzaklıkları	204
Şekil 221. Kayıt istasyonlarının bölgesel olarak dağılımı haritası	204
Şekil 222. 24 Aralık 2004 Sumatra Depreminin "ANTB" istasyonu tarafından kayıt edilmiş, a) Tüm dalga fazlarını içeren kayıt, b) Sadece aranan dalga fazlarını içeren kayıt	205
Şekil 223. "ANTB" istasyonunda kayıt edilen Sumatra depreminin, a) Spline interpolasyonu uygulanmış kaydı, b) Filtrelenmiş kaydı	205
Şekil 224. "ANTB" İstasyonunda kayıt edilen Sumatra depremi için P fazlarını içeren kayıtları için a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth filtre uygulaması, c) Yüksek geçişli Butterworth filtre uygulaması, d) Filtrelenmiş genlik spektrumu, e) Filtrelenen verinin zaman ortamında gösterimi, f) Uygulanan Tukey penceresiyle pencereleme (uzun), g) Pencerelemiş veri	206
Şekil 225. "ANTB" İstasyonunda kayıt edilen deprem verisinin Şekil 224 f'de pencerelemesi sonucu kepstrum sonuçları	207
Şekil 226. 24 Aralık 2004 Sumatra Depreminin "ANTO" istasyonu tarafından kayıt edilmiş, a) Tüm dalga fazlarını içeren kayıt, b) Sadece aranan dalga fazlarını içeren kayıt	208
Şekil 227. "ANTO" istasyonunda kayıt edilen Sumatra depreminin, a) Spline interpolasyonu uygulanmış kaydı, b) Filtrelenmiş kaydı	208

Şekil 228. “ANTO” İstasyonunda kayıt edilen deprem verisinin Şekil 227 c’de pencerelenmesi sonucu kepstrum sonuçları	209
Şekil 229. Harf sırasına göre ANTB-GBZX deprem istasyonları arasındaki kayıtları (kayıtlar üzerinde P fazları IASP91’e göre işaretlenmiştir.)	212
Şekil 230. Harf sırasına göre GNI-YLVX deprem istasyonları arasındaki kayıtları. (kayıtlar üzerinde P fazları IASP91’e göre işaretlenmiştir.)	213
Şekil 231. Birinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları	215
Şekil 232. İkinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları 1. kısım	215
Şekil 233. İkinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları 2. kısım	216
Şekil 234. Üçüncü grup veri için klasik kepstrum sonuçları.....	216
Şekil 235. Birinci grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları	217
Şekil 236. İkinci grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları	218
Şekil 237. Üçüncü grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	218
Şekil 238. Birinci grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	219
Şekil 239. İkinci grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	220
Şekil 240. Üçüncü grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	220
Şekil 241. Birinci grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	221
Şekil 242. İkinci grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	222
Şekil 243. Üçüncü grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları.....	222

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo1. Şekil 12'deki dalgacığın öz-ilişki fonksiyonu ayrık değerleri	17
Tablo 2. Kepstrum ve Spektrum ortamı için kullanılan terimler[16].....	27
Tablo 3. IASP91 Modeline göre bulunan sonuçlar ile kepstrum sonucu bulunan zaman farkları[12]	172
Tablo 4. 24.12.2004 Sumatra depremine ait 24 istasyonda kayıt edilmiş verilerin IASP91 modeline göre fazlar arasındaki bulunan zaman farkları ve kepstrum sonucu bulunan zaman farkları	211

SEMBOLLER DİZİNİ

a	Genlik
C_{xx}	Bir fonksiyonun kendisiyle olan ilişkisi (öz-ilişki)
dt	İki fonksiyon arasındaki zamansal farklılık
$F_{2,2(N-1)(d)}(d)$	Kepstral F-istatistik
MF	Bir sinyalin hâkim frekansı
OK	Yığılımlı olarak toplanan kepstrum değerlerinin ortalamasının bulunması
\overline{okep}	Her bir istasyonda bulunan kepstrum değerlerinin ortalaması
τ	Zaman kaymasını gösteren bir tamsayı
YK	Her bir istasyon için bulunan kepstrum değerlerinin toplamı
YM	Bulunan kepstrum sonuçlarının ortalama kepstrum değerlerinden farkları
YOK	Sismik bir istasyon ağı tarafından kayıt edilen deprem verisine ait kepstrum sonuçlarının ortalaması alınarak istasyon sayısına çarpımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Sismoloji, eski Yunancada “seismo”, sarsıntı ve “logos”, bilim anlamına gelen iki kelimedenden türemiştir. Bu anlamıyla sismoloji sarsıntı bilimi olup yerin içerisinde meydana gelen ve deprem olarak nitelendirilen olayları incelemektedir [1]. Depremler belirli zaman dönemlerinde ya da değişik tektonizma olayları sonucunda, yer kabuğunda biriken devasa boyuttaki enerjilerin ani olarak açığa çıkması sonucu meydana gelirler. Bir deprem sonrası açığa çıkan enerjiler yer içerisinde sismik ışın dalgaları şeklinde her yönde yayılırlar. Yayılan bu dalgalar yeryüzüne yerleştirilen çok hassas aletler yardımıyla kayıt edilirler. Sismograf adı verilen bu aletler prensip olarak bir tür sarkaçtır ve günümüzde dijital kayıt yapabilecek şekilde de üretilmektedirler. Bir sismograf kaydı, kaynağın, yayılım yollarının, kayıt aletinin karakteristik özelliklerinin ve ortamdaki gürültünün etkileşimi sonucu karmaşık bir görünümündedir. Oldukça karmaşık olan bu durumu anlamak için sismik kaynağın fiziksel yapısı, yerin içyapısı ve sismik dalga yayılımlarının oldukça iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bir deprem sonucunda genel olarak iki tür dalga gözlenmektedir. Cisim ve yüzey dalgaları adı verilen bu enerji yayılımları farklı özelliklere sahiptirler. P ve S dalgaları diye kendi aralarında ikiye ayrılan cisim dalgaları, bir depremin kayıt edilen ilk dalgalarıdır. Yüzey dalgaları da L ve R dalgaları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Fakat gerçek hayatta bir sismograf kaydına bakıldığında bu saydığımız 4 dalga fazı dışında birçok dalga fazları da görülmektedir. Bu dört ana dalgadan türemiş olan diğer fazlar, kaynak ile alıcı istasyonu arasındaki mesafeye, kaynağın derinliğine, sismik dalgaların ilerledikleri ortamın özelliklerine bağlı olarak değişik tür ve sayıda, alıcı istasyonları tarafından kayıt edilirler. İşte sismograflar tarafından kayıt edilen bu dalga fazlarını tanıyıp kayıtlar üzerinde ayırt edebilirsek yerin içyapısı, depremin kaynağı, vb. gibi sismolojinin temel problemlerini çözmeye büyük faydalar sağlanabilir.

Sismolojide her bir dalga fazı farklı fiziksel etkilere maruz kaldığı için bunların taşımış oldukları bilgilerin iyi analiz edilmesi gerekir. Bunun içindir ki dalga fazlarının ayrılması sismoloji için ayrı bir önem taşımaktadır. Burada yapılacak çalışmadaki amaç, cisim dalga fazlarından olan P-pP, PcP, PP, sP gibi bir kaynaktan çıkıp alıcılarımıza ilk

gelecek olan dalga fazlarının ayrılması olacaktır. Eğer bu tür dalga fazlarının arasındaki girişim ilişkisi çözülebilirse, bu fazlar arasındaki gecikme zamanları ve olası faz farkları kolaylıkla bulunabilir. Bulunan bu sonuçlardan yola çıkarak sismolojide çözülmesi gereken bazı problemler için kolaylıklar sağlanmış olacaktır. Örneğin bir depreme ait odak derinliğinin belirlenmesinde sismolojide genellikle P-pP veya S-sP fazları arasındaki gecikme zamanlarından yararlanılır. Bu gecikme farklarının hassas bir şekilde bulunması depremin derinliğinin doğruluğu açısından önem taşımaktadır. Çoğu sismograf kayıtları üzerinde bu fazların bir ya da bir kaç girişmiş olarak karşımıza çıkabilir. Girişim olayının çözümü için çeşitli spektral teknikler kullanılmaktadır.

Gerçek sismograf kayıtları üzerinde bir çalışmaya başlamadan önce kullanılacak tekniklerin tanınması ve sınırlarının iyi bilinmesi gereklidir. Bu amaçla cisim dalga fazlarının girişim olayı, bu fazları temsil eden “Berlage fonksiyonu” adı verilen bir fonksiyon yardımıyla modellenerek, elde edilen yapay sismogramlar üzerinde uygulanarak tekniklerin gücü irdelenmeye çalışılacaktır. Yapay modeller üzerinde değişik spektral yöntemler denenerek gecikme zamanı önceden bilinen sonuçlara, yapılacak çalışma ile ne kadar yaklaşılabileceği tespit edilecektir. Modeller üzerinden edinilen tecrübe ve cevap yeteneklerine göre, girişime uğramış gözlemsel veriler üzerinde gecikme zamanının bulunmasına yönelik çalışmalar güvenilir olabilir. Yapay veriler üzerinde yapılacak çalışmalarda genel olarak 3 yöntem kullanılacaktır. Bunlar “öz-ilişki yöntemi”, “spektral sıfırlar” yöntemi ve ağırlıklı olarak “kepstrum” yöntemi olacaktır. Bu yöntemleri yapay olarak oluşturulacak ve çeşitli etkiler altında kalmış olan yapay sismogramlar için sırasıyla uygulanacaktır. Genel olarak bu etkiler sismograf kayıtları üzerinde de sıkça rastlanabilecek faz kaymaları, değişik girişim zamanları, gürültüler gibi etkiler olacaktır. Bu etkilerin her birinin ayrı ayrı incelenmesiyle farklı çözüm teknikleri için sonuçlar çıkartılarak, uygulamalar arasında bir de kıyaslamaya gidilecektir. Bir sismograf kaydında rastlanabilecek bütün olaylar için çözümler sınıandıktan sonra gerçek veriler üzerinde yöntemler uygulanabilir hale gelebilir.

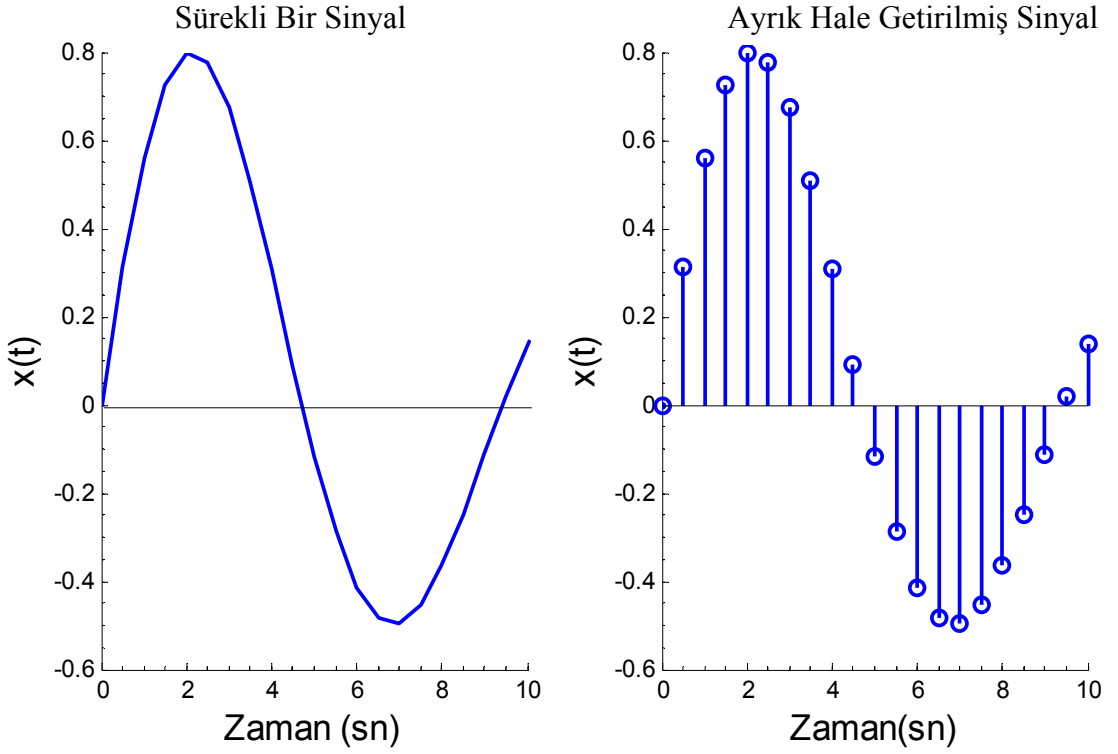
Gerçek veriler üzerinde dalga faz ayrımları için yöntemler uygulanmadan önce verideki sinyal/gürültü oranını arttıracak veri işlem uygulamalarına gidilecektir. Yapılacak çalışmada ilk önce sinyal ve sistemler hakkında kısaca bilgi verildikten sonra sismolojik sinyaller sınıflandırılarak kısaca şekilleriyle beraber açıklanacaktır. Daha sonra “problem nasıl çözülebilir?”, “şu ana kadar kullanılan çözüm teknikleri ve gücü”, “bu tekniklerin geliştirilmesi için neler yapılabilir?” gibi sorulara cevap aranacaktır. Dalga fazı

ayrılmasında kullanılacak olan yöntemlerin matematiksel tanımlamaları yapılarak, model çalışmaları için yöntemin teorisi verilmektedir. Model çalışmalarında kullanılacak olan “Berlage fonksiyonu” tanımlanarak, yapay fazların nasıl oluşturulacağı, hangi etkilere maruz kalacağı ve bu etkiler altındaki çözüm sonuçları detaylarıyla irdelenecektir. Daha sonra gerçek veriler üzerinde yöntemler denenerek çıkan sonuçlar yorumlanacaktır. En son olarak tüm çözüm tekniklerinin birbirleriyle de kıyaslanması yapılarak genel bir yorumlama yapılacaktır ve önerilerde bulunulacaktır.

1.2 Veri, Sinyal Ve Sistem Kavramı

Sinyal, fiziksel bir büyüklüğü ya da birden fazla değişkeni temsil edebilen bir işlev olup, bir olayın doğasına veya davranışına ilişkin bilgiler içeren matematiksel olarak tanımlanabilen her türlü değer ya da değerler grubunun fonksiyon şeklinde gösterilmesidir. Sahip olunan duyular sayesinde temel olarak; dokunma, duyma, görme, koklama gibi farklı yollardan sinyaller alınır. Fakat yine de sinyal denilince akla ilk olarak elektriksel akım ya da voltaj gelmektedir. Gerçekten birçok sinyalin elektriksel yolla iletildiği doğrudur, fakat akım ya da voltaj sinyalin tamamı değil sadece iletimidir. Örneğin uçan bir kuşun hareketleri, fizik yasalarına bağlı olarak elektromanyetik dalgalar yoluyla (ışık ya da radyo sinyalleri) gözümüze iletilir.

Her şeyden önce sinyal bir fonksiyondur ve sistemlerle her zaman etkileşim içindedirler. Bu yüzden sinyaller grafiksel olarak gösterilebilir. Genellikle grafik üzerinde yatay eksen zamanı (t) ve sinyal zamanın bir fonksiyonu olduğu için fonksiyon $x(t)$ olarak tanımlanır. t değişkeninin sürekli olması durumunda $x(t)$ sinyalinin sürekli zamanlı bir sinyal, t ayrık değişkenli ise, yani $x(t)$ ayrık zamanlar için tanımlanmışsa, $x(t)$ 'nin ayrık zamanlı bir sinyal olduğu söylenir (Şekil 1).

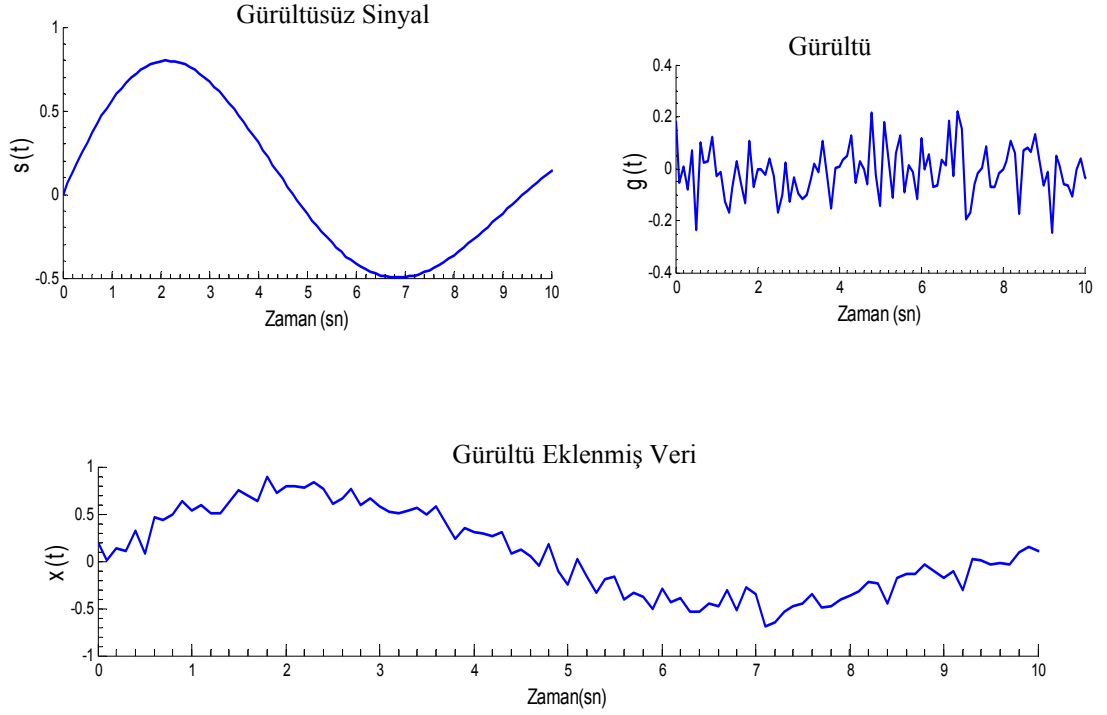


Şekil 1. Ayrık ve sürekli sinyallerin grafiksel gösterimi

Veri, bilinmeyeni bulmak üzere belirli bir düzen içinde yapılan gözlemler ve ölçümler sonucunda elde edilen her türlü değer ya da değerler grubu olarak tanımlanabilir. Veriyi oluşturan değer ya da değerler grubunun tümü için bilgi taşıdığını söylemek yanlış olur. Verilerin bazıları tanımlı bileşenlere sahip iken, diğerleri rasgele bileşenlere sahiptirler. Bir rasgele bileşenin en bilinen şekli gürültüdür. Gürültü, matematiksel olarak bir sinyal ile toplanarak, çarpılarak veya konvole olarak sinyali karmaşıklaştırır (Şekil 2). Gözlemsel veriler niteliği ne olursa olsun, gürültü içermektedirler. Verinin bilgi taşıyan kısmına sinyal, diğer kısmına gürültü adı verilmektedir. Böylelikle veri, sinyal ve gürültünün toplamı olarak gösterilebilir.

$$x(t) = s(t) + g(t) \quad (1.1)$$

Burada $x(t)$ veriyi, $s(t)$ sinyali, $g(t)$ 'de gürültüyü simgelemektedir.



Şekil 2. Gürültülü bir verinin oluşturulması

1.3. Bir Sinyalin Temel Parametreleri

Bir sinyal yalnızca zamanın fonksiyonu ise 'Titreşim', hem zamanın hem de uzaklığın fonksiyonu olarak değerlendiriliyorsa 'Dalga' ismini alır. Dünyada, değişik şekillerdeki birçok sinyal ile çevrelenmiş bulunmaktayız. Bu sinyallerin bazıları doğal, fakat çoğunluğu insan kaynaklıdır. Bazı sinyaller ihtiyaçtır (konuşma amaçlı vb.), bazıları mutluluk vericidir (müzik vb.), ancak bazıları verilen bir durum için istenmeyen veya gereksiz sinyallerdir. Mühendislikte, sinyaller kullanışlı ve istenmeyen bilginin de taşıyıcılarıdır. Bir sinyalin tanımlayıcı temel parametreleri; genliği, periyodu, frekansı, dalga boyu, dalga sayısı, ilerleme hızıdır.

Periyot: Bir sinyalin bir gözlem süresince kendini tekrar etme süresine denir. Birimi zamanla ilgilidir. Genellikle, T ile gösterilir ve sn (sn), milisn (msn) olarak ifade edilir.

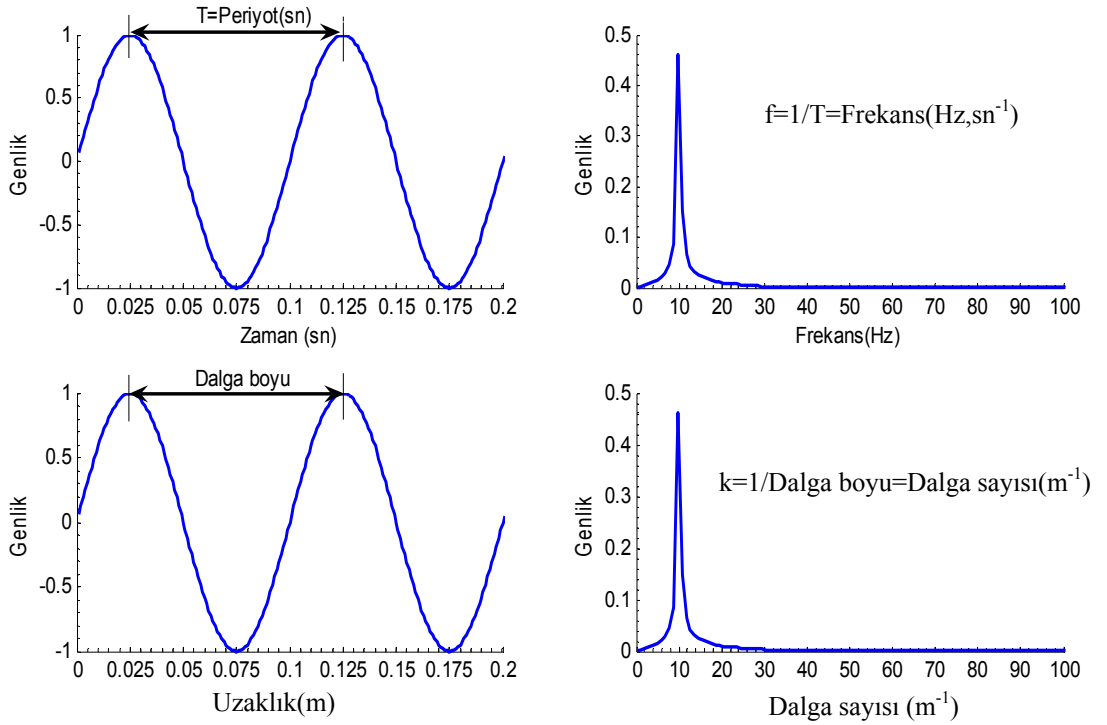
Dalga boyu: Bir sinyalin bir gözlem uzaklığı boyunca kendini tekrar etme mesafesine denir. Birimi uzunlukla ilgilidir. Genellikle λ ile gösterilir ve santimetre (cm), metre (m), kilometre (km) olarak ifade edilir.

Frekans: Bir sinyalin gözlem süresince kendini tekrarlama sayısına denir. Matematiksel olarak periyotun tersidir. Genellikle f (çizgisel frekans) ve ω (açısal frekans)

olmak üzere iki şekilde gösterilir ve Herzt (Hz), 1/sn (sn^{-1}), devir/sn (devir/sn) olarak ifade edilir. Açısal frekans ile çizgisel frekans arasında, $\omega=2\pi f$ ilişkisi vardır.

Dalga sayısı: Bir sinyalin gözlem uzaklığı boyunca kendini tekrarlama sayısına denir. Matematiksel olarak dalga boyunun tersidir. Genellikle k (çizgisel dalga sayısı) ve σ (açısal dalga sayısı) olmak üzere iki şekilde gösterilir ve 1/metre (m^{-1}), devir/uzaklık(devir/m) olarak ifade edilir. Açısal dalga sayısı ile çizgisel dalga sayısı arasında, $\sigma=2\pi k$ ilişkisi vardır.

Dalga hızı: Farklı türleri olmakla birlikte, bir sinyalin kaynaktan algılayıcıya olan mesafeyi kat etme miktarı olarak ifade edilir ve genellikle v veya c ile gösterilir. Dalga hızı=Yol (metre)/Zaman (sn) olarak belirlenir. Dalga hızı, sinyalin frekans ve dalga sayısı ile de ilişkilidir. $v=\omega/k$, $v=\lambda/T$ gibi ifade edilebilir(Şekil 3).



Şekil 3. Frekans ve dalga sayısı 10 Hz ve 10 m^{-1} olan bir sinüzoidal sinyalin, zaman-frekans ve uzaklık-dalga sayısı ortamlarındaki görünümü.

1.4. Verilerin Sınıflandırılması

1.4.1. Periyodik Veriler

Bir sürekli zamanlı $x(t)$ sinyali, T sıfırdan farklı pozitif bir sayı olmak üzere;

$$x(t + T) = x(t) \quad (1.2)$$

Bütün t değerleri için, (1.2) koşulunu sağlıyorsa, bu sinyal periyodiktir ve periyodu T 'dir. $x(t)$ 'nin temel periyodu T_0 , (1.2) eşitliğini sağlayan en küçük pozitif T değeridir. Kısacası belirli T aralıkları ile kendini yineleyen verilere periyodik veriler adı verilir (Şekil 4).

Periyodik ayrık zamanlı sinyallerde benzer biçimde tanımlanabilirler. Bir $x[n]$ dizisi,

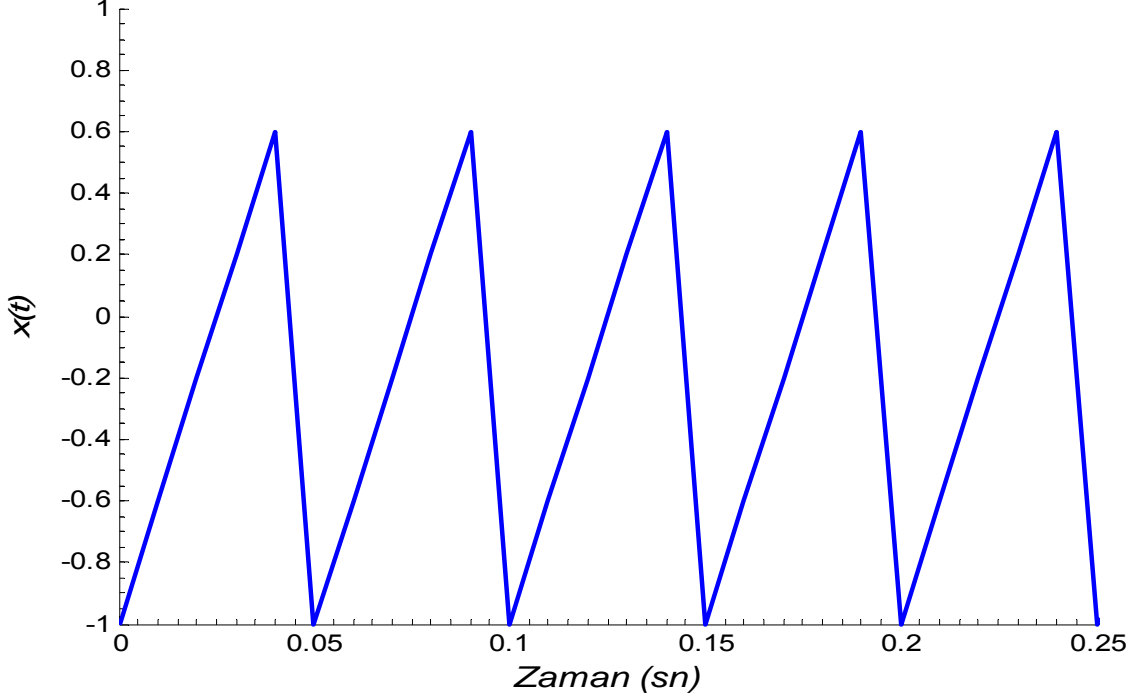
$$x[n + N] = x[n] \quad (1.3)$$

Bütün n değerleri için, (1.3) koşulunu sağlayan pozitif bir N tamsayısının olması durumunda periyodiktir ve periyodu N 'dir.

Sürekli zamanlı periyodik bir sinyalin düzgün örneklenmesiyle elde edilen bir dizi periyodik olmayabilir. Ayrıca sürekli zamanlı iki periyodik sinyalin toplamı da periyodik olmayabilir. Fakat iki periyodik dizinin toplamı her zaman periyodiktir.

Bir sinyalin periyodik olup olmadığını görmek için, T_s uzunluğunda bir pencere ile sinyalin kesildiğini düşünelim. Kesilen sinyalin her iki tarafında da kesme uzunluğu T_s nin tamsayı katları şeklinde dilimler alındığında yine bu dilimler benzer özellik gösteriyorsa sinyal periyodiktir denebilir. Gerçek hayatta böyle periyodik sinyaller var mıdır? Çok yaygın bir şekilde kullanılan elektrik sinyali periyodikliği bakımından örnek verilebilir. Bu sinyal bir sn'de 50 kez değişir. Yani bu sinyal için f 'nin 50 Hz ve periyodu T 'nin 20 milisn ($T=1/f$) olduğu söylenebilir. Bir sinyalin periyodik olup olmamasının ana nedeni, üretim kaynağının döngüsel (devirli) bir hareket yapmasından kaynaklanır.

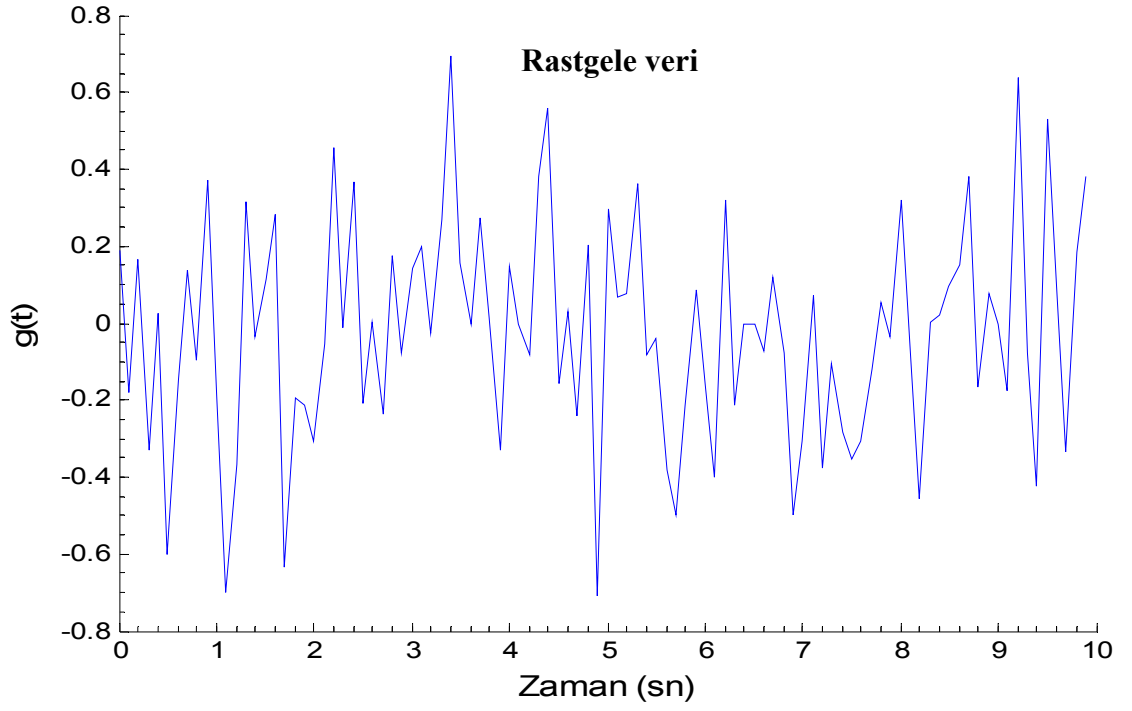
Testere Fonksiyonu



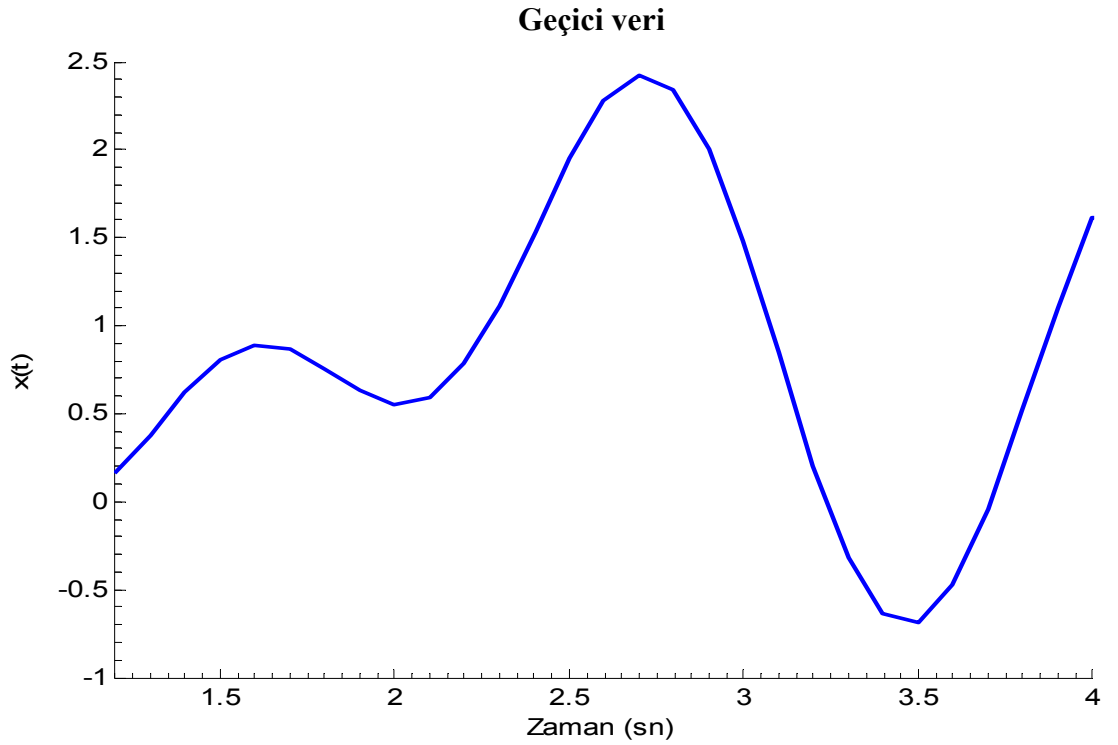
Şekil 4. Testere şeklinde $T = 0.05$ sn ve $f = 20$ Hz'lik periyodik bir fonksiyonun gösterimi

1.4.2. Rastgele Veriler

İkinci bir sinyal çeşididir. Bu tür veriler matematiksel bir bağıntıyla tanımlanamazlar ve kesinlikle periyodik değildirler (Şekil 5). Kendilerini tekrarlamadıkları için kestirimleri de oldukça zordur. Fakat bu tür sinyaller bir takım istatistikî yöntemlerle özellikleri belirlenmeye çalışılabilir. Genellikle zaman ortamında özellik olarak karmaşık olmalarına rağmen frekans ortamındaki davranışları ile tanımlamak, sınıflandırmak olanaklıdır. Örneğin, bir zaman serisi tüm frekanslarda aynı düzeyde bir gürültüye sahipse bu tür zaman dizisine “beyaz gürültü” adı verilir. Kimi gürültüler ise belirli bir frekans bandında baskın özellik gösterebilir. Bu tür gürültülere de “renkli gürültü” adı verilmektedir. Rastgele verilere hayatımızın her yanında rastlamak mümkündür. Yaşamımızı da bir rasgele veriler dizisi şeklinde düşünebiliriz. Geçmişte yaptıklarımıza bakarak 1 saat, 2 gün, 2 yıl sonra yapacağımız şeyleri tam olarak kestirebilmek pek doğru olmasa gerek.



Şekil 5. Rastgele veri (normal dağılımlı bir gauss gürültüsü)



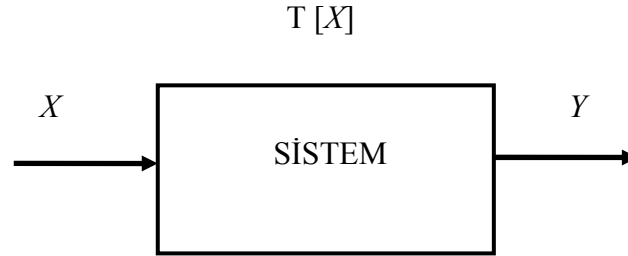
Şekil 6. Geçici (transient) bir veri örneği

1.4.3. Geçici Veriler

Üçüncü bir tip sinyal çeşididir ve sonsuza değin sürmezler (Şekil 6). Bu yüzden ne rastgele veriler ne de periyodik verilere uygunluk gösterirler. Açık bir biçimi olmamasına rağmen, tanımlamak için matematiksel bir eşitlik yazılabilir. Bu nedenle belirlidir denilebilir. Sonlu süreli sinyallere geçici veriler denir. Gerçekte tüm veriler sonlu sürelidir fakat tersi doğru değildir.

1.5. Sistem

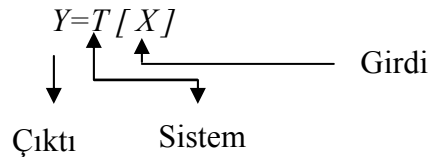
Bir sistem, giriş (veya uyarı) sinyaline karşı bir çıkış (veya tepki) sinyalini oluşturan fiziksel bir sürecin matematiksel modelidir. Yani giriş sinyalini birtakım işlemler sonucu çıkış sinyaline dönüştüren, benzeri olmayan (tek) bir dönüşüm olarak tanımlayabiliriz. x ve y , bir sistemin giriş ve çıkış sinyalleri olsun. Bu sistem, X den Y ye bir dönüşüm olarak düşünülebilir (Şekil 7).



Şekil 7. Basit bir sistemin görünüşü

Burada X ve Y sinyalleri zamanın fonksiyonu olup, sistemin kendisi de herhangi bir matematiksel işlem operatörüyle ifade edilebilir.

$$X = f_1(t), Y = f_2(t), Sistem = (+), (-), (*), ..vs$$



1.6. Jeofiziksel Veriler

Jeofizikte iki türlü bilgi alış verişi vardır. Birincisi pasif olarak isimlendirilen sadece bir olgunun oluşturduğu tepkinin zaman, uzaklık gibi parametrelere göre değişiminin ölçülmesiyle yapılır. Örneğin depremler, yerin sıcaklık değişimleri, manyetik alan değişimleri, yerçekimi alanının ölçülmesi gibi jeofiziksel çalışmalarda yerle jeofizikçi arasında tek yönlü bir iletişim vardır.

İkinci tür iletişim ise aktif olarak isimlendirilir ve bilgi alış verişi iki yönlüdür. Yani ölçmek istenilen bir sistemin vereceği tepki için ilk önce o sisteme bir sinyal yollar. Daha sonra gönderilen sinyale karşılık tepki, çeşitli yöntem ve ölçü alım sistemleriyle ölçülerek değerlendirilmeleri yapılır. Örneğin sismik bir uygulamada yere gönderilecek olan ses dalgası sinyali ağırlık düşürme, patlayıcılar, titreşim kaynakları gibi mekanizmalarla üretilerek yeraltına gönderilir. Yeraltında gönderilen bu sinyale tepki olarak bir cevap verecektir. İşte bu iki yönlü bilgi alış verişi aktif bir iletişim olarak adlandırılmaktadır. Yerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak bilgi alış verişi değişik olacaktır. Bu değişiklikler yer hakkında bilgi taşırlar ve algılanabilir nitelikte olmalıdır.

Jeofizik problemlerde temel amaç, verinin çözümlenmesini yaparak jeolojik yapıyı ortaya çıkarmaktır. Jeolojik yapının ortaya çıkartılması için iki farklı yaklaşım vardır. Tanımsal yaklaşımda veriler; matematiksel bağıntılarla tanımlanabilir, deneylerle yinelenabilir, ön kestirilebilir, parametreleri saptanabilir değerlerdir. İkinci tür rastgele veriler ise stokastik bir sürecin örnek bir fonksiyonudurlar. Bunlar matematiksel bağıntıyla tanımlanamaz, sadece olasılık yoğunluk dağılımı ve istatistikî özellikleri ile tanımlanabilirler. Modelleme, parametre saptama işlemidir. Parametreler modeli belirleyen değerlerdir. Değerlerin saptanabilmesi için verinin tanımsal nitelikte olması gerekir. Gerçekte bilinen birçok jeofiziksel veri rastgele veridir. Çünkü tüm gözlemsel veriler belirli ölçüler içinde değişik kökenli rastgele bileşenler içerirler ve bunlar genel olarak gürültü diye adlandırılmaktadır [2].

1.7. Sismik Dalga Fazları Ve Temel Özellikleri

Yer içerisinde tabakaların etkileşimleri sonucu birikmiş olan enerjiler, yapıların eşik değerlerini aştıkları zaman ani olarak açığa çıkarlar ve elastik dalgalar halinde ilerleyerek alıcılarımıza ulaşırlar. Elastik dalgalar; özelliklerine, alıcı-verici arası uzaklığa, kaynağın derinliğine, geçtikleri ortamların fiziksel nitelik ve yeraltı yapılarına bağlı olarak bir takım dalga fazlarına ayrılarak alıcılarımıza ulaşırlar.

Çeşitli sınıflandırma kıstasları olmasına rağmen temel olarak iki grup sismik dalga (elastik) çeşidi vardır. İlki yerin iç kısımlarında ilerleyen cisim dalgaları, diğeri yerin serbest yüzeyinde ya da yer içindeki uyumsuzluk yüzeyleri boyunca yayılan ve yüzey dalgaları olarak isimlendirilen dalgalardır. Bunlarda kendi aralarında çeşitli alt gruplara ayrılabilirler. Burada fazla detaylı açıklama yapılmadan sadece ileriki uygulamalarda karşılaşılabilecek olan dalga fazları gösterilmiştir. Telesismik bir sismogram kaydında ilk olarak gözlenecek dalga fazları genellikle P, pP, PcP, sP, PP olarak sıralanabilir. Bu sıralama depremin episantr uzaklığı, derinliği ve geçtiği ortamlara bağlı olarak değişebilir.

1.7.1. Telesismik Depreme Ait Bir Sismogram Kaydı Üzerinde Karşılaşılabilecek İlk Birkaç Deprem Fazı

P dalgası: Boyuna bir dalga olup manto ile dış çekirdek sınırından yansiyarak ya da kaynaktan çıktıktan sonra üst mantodan geçerek alıcılara gelen dalgalardır (Şekil 8, 9).

PP dalgası: Bir kaynaktan çıkan P dalgasının serbest yüzeyde yansımalarıyla oluşan dalgalardır (Şekil 8).

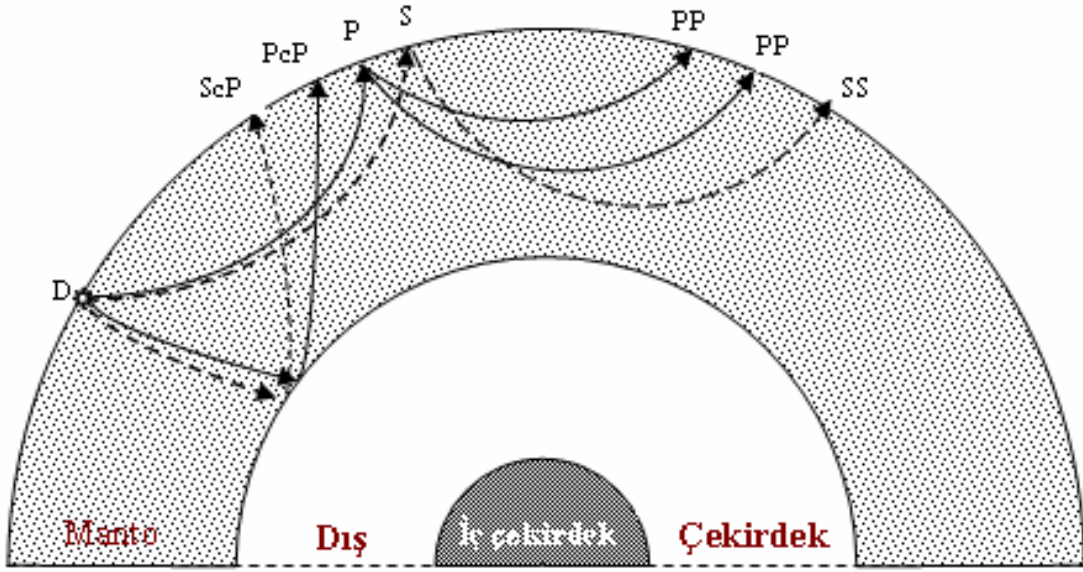
PcP dalgası: P dalgasının dış çekirdek-manto sınırından yansımalarıyla oluşurlar (Şekil 8).

S dalgası: Enine bir dalga olup manto ile dış çekirdek sınırından yansiyarak ya da kaynaktan çıktıktan sonra üst mantodan geçerek alıcılara gelen dalgalardır (Şekil 8, 9).

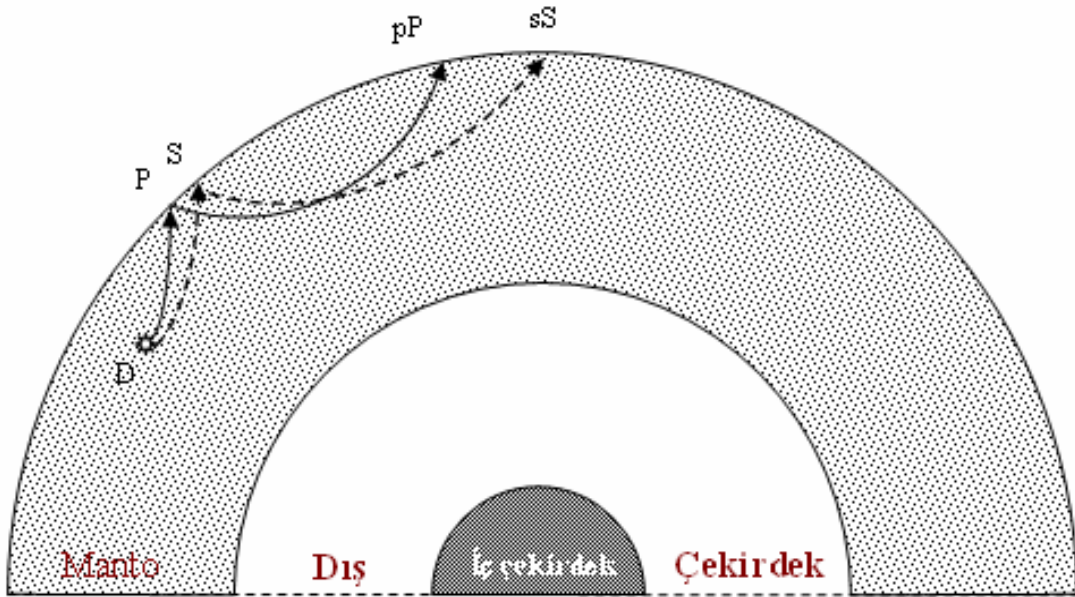
SS dalgası: Bir kaynaktan çıkan S dalgasının serbest yüzeyde yansımalarıyla oluşan dalgalardır (Şekil 8).

pP dalgası: Kaynaktan yüzeye doğru ilerleyen P dalgası ya yerin serbest yüzeyinde ya da okyanus tabanında yansımaya uğrayarak oluşturmaktadır (Şekil 9).

sS dalgası: Kaynaktan yüzeye doğru ilerleyen S dalgası ya yerin serbest yüzeyinde ya da okyanus tabanında yansımaya uğrayarak oluşturmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. Doğrudan ve yansıma uğramış ışın yollarının mantoda yayılım yolları. Düz çizgiler P dalgasını, kesikli çizgiler ise S dalgasını göstermektedir. Dalgalar D ile gösterilen merkezden, P ve S dalgaları olarak yayılırlar. Şekildeki farklı dokular yerin farklı tabakalarını göstermektedir. [3]



Şekil 9. Derinlik fazlarına ait dalga yayılım yollarının gösterilmesi. [3]

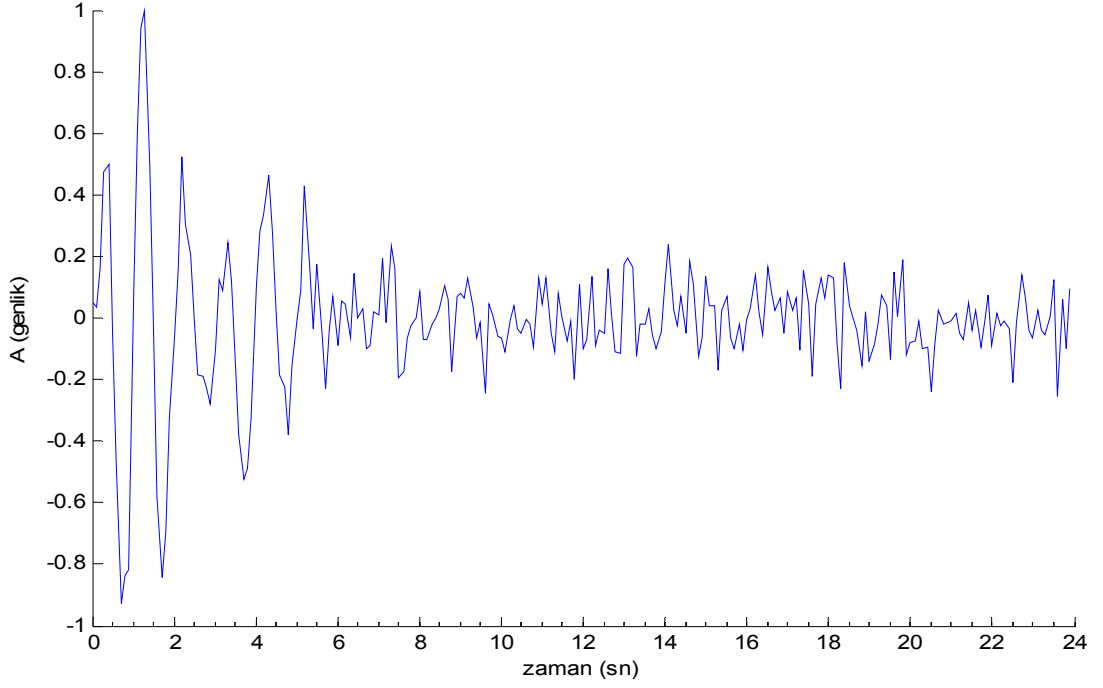
1.8. Birbirleriyle Girişime Uğramış/Uğratılmış Gözlemsel/Yapay Sismik Dalgalarının Spektral Analiz Yöntemleriyle Gecikme Zamanları ve Faz Farkı Bilgilerini Elde Edilmesi

Yer içerisinde bir mekanizmaya bağlı olarak, bir kaynaktan ani olarak çıkan elastik dalgalar, ilerlerken geçtikleri ortama bağlı olarak süreksizlik sınırlarında yansıma, kırılma, gürültü vb. olaylar sonucunda girişime uğramış şekilde alıcı istasyonlarına gelirler. İşte bu girişime neden olan fiziksel farklılıkların ortaya çıkartılması sismolojinin uğraştığı ana hedeflerden biridir.

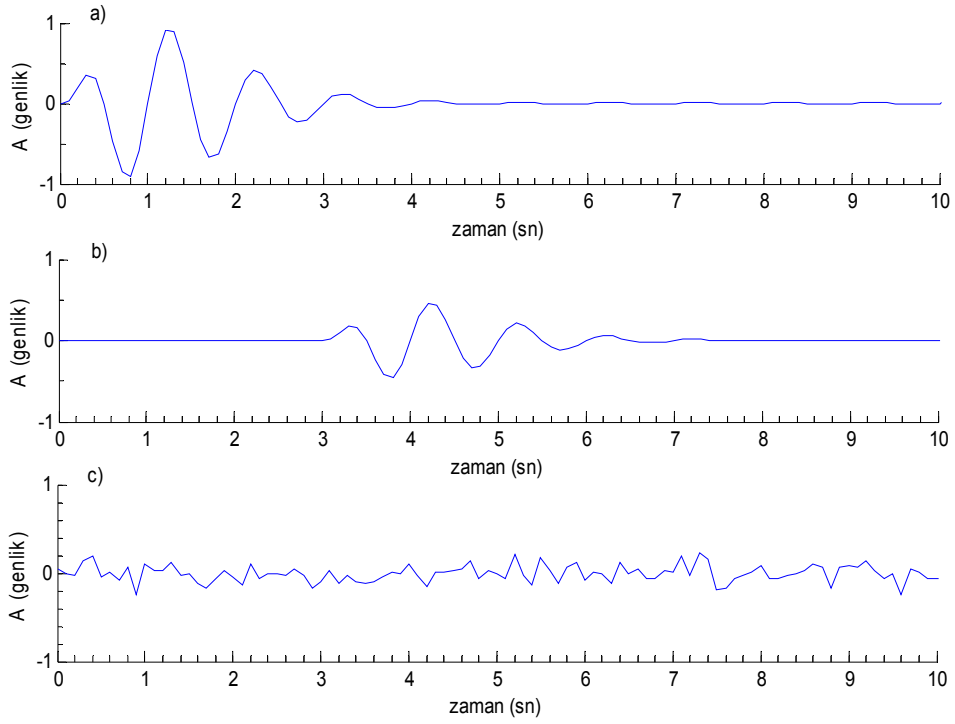
Burada açıklanmaya çalışılacak konu ise yukarıda anlatılan çok değişik dalga fazlarından biri olan P-pP, S-sS gibi derinlik fazlarının (depth phase) girişiminin incelenerek aralarındaki zaman farkının (gecikme) bulunmasıdır. Bu sayede doğru bir şekilde bulunacak olan bu gecikme farklarından yararlanılarak bir depremin odak derinliğinin bulunması çalışmalarına yardımcı olunabilir. Bu amaçla yapay olarak üretilen dalgalar, değişik koşullar altında (farklı gecikme ve genlik değerleri, değişik faz farkları, gürültüler) girişime uğratılarak, daha sonra tekrar bileşenlerine ayrılabilme özellikleri incelenecektir. Bu ayırma işlemi zaman ortamında öz-ilişki fonksiyonlarından, frekans ortamında spektral sıfırlar yöntemiyle, kepstum ortamında ise klasik güç kepstumu, kompleks kepstum ve öz-ilişki fonksiyonundan hesaplanan kepstum yöntemleriyle incelenecektir. Bu şekilde yöntemlerin gecikme zamanlarını belirlemedeki gücü irdelenecektir.

Bir kaynaktan çıkan elastik dalgalar yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı kayıt istasyonuna değişik oranlarda girişime ve gürültüye maruz kalmış bir şekilde gelirler. Amacımız aşağıdaki Şekil 10'da gösterildiği gibi karmaşık olaylar sonucu girişime uğrayan dalga fazlarının ve olası gürültülerinin etkileşmesi sonucu oluşan karmaşık şekilli dalga formunun tanımlanmasıdır. Bu tanımlama dalga formunu oluşturan dalga fazlarının ayırt edilerek aralarındaki gecikme zamanlarının bulunmasıyla olacaktır. Bu ayırımın güvenilirliği, önce yapay olarak değişik oranlarda giriştirilmiş ve gürültü eklenmiş veriler üzerinde yukarıdaki teknikler uygulanıp denenerek ne dereceye kadar güvenilir hesaplandığı görülecektir.

Yapay bir sismogram kaydı



Şekil 10. Cisim dalgalarını temsilen oluşturulan yapay bir sismogram kaydı örneği



Şekil 11. Şekil 10'da verilen yapay sismogramın oluşturulmasında kullanılan bileşenler, a) Kaynak dalgacığı, b) Yankısı, c) Eklenen gelişigüzel gürültü

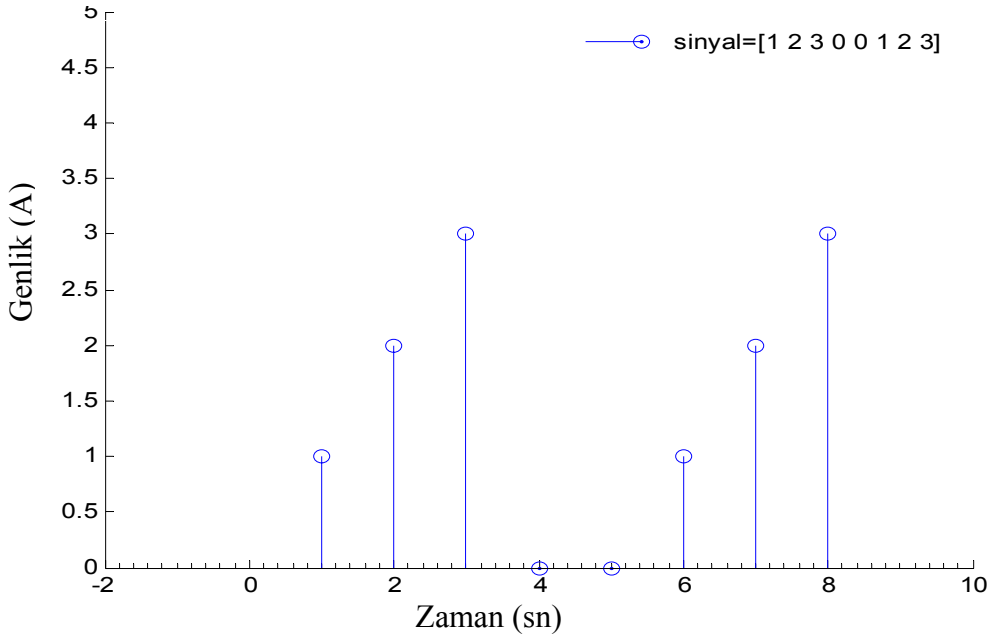
Şekil 10'a bakıldığında yorumlama açısından yorumcuya, hiçbir veri işlem tekniği uygulanmadan önemli bir bilgi vermemektedir. Ama aslında Şekil 10, Şekil 11'de görülen iki dalgacığın ve gürültünün toplamıyla oluşturulmuş sinyalin girişimiyle meydana gelmektedir. Burada bulunmak istenen iki faz arasındaki zaman farkı (burada 3 sn) ve iki fazın birbirine göre farklarıdır (burada $\theta = 60^0$). Burada, değişik etkiler sonucu girişmiş fazların ayrılması için kullanılan değişik yöntemlerin yeterlilikleri yapay veriler üzerinde sınanacaktır.

1.8.1. Öz-İlişki Yöntemi

İlişkide genel olarak bir ya da birden fazla büyüklüğün başka bir büyüklüğün bağımlı değişkeni olup olmadığı, değişimlerinin belirli bir kurala uyup uymadığı aranır. Birçok ilişki çeşidi vardır. Bunlardan öz-ilişki yöntemi, bizim uygulamamızda girişmiş sinyalleri birbirinden ayırt ederek bunlar arasındaki gecikme zamanının saptanmasında ve faz farkının hesaplanmasında kullanılacaktır. Durumu basit bir şekilde açıklarsak;

Bir zaman sinyali içerisinde T periyodu ile yinelenen bir dalgacığın alacağı biçimi inceleysek.

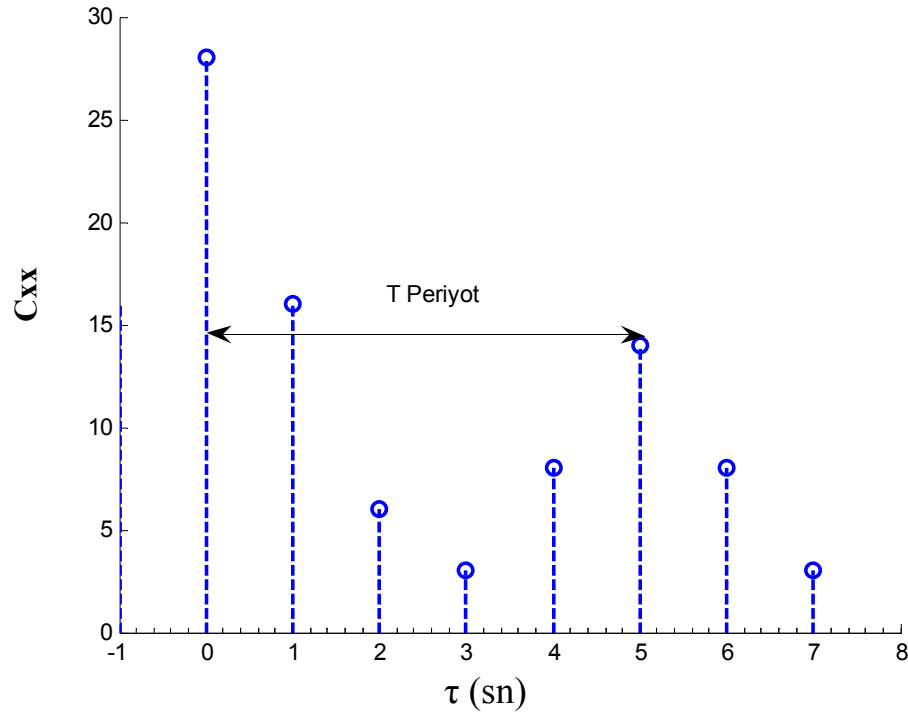
Sinyal(1, 2, 3, 0, 0, 1, 2, 3) ; şeklinde olsun. Zaman ortamında çizersek;



Şekil 12. T= 5 sn periyoduyla yinelenen (1,2,3) dalgacığının gösterimi

Tablo1. Şekil 12'deki dalgacığın öz-ilişki fonksiyonu ayrık değerleri

τ	0	1	2	3	4	5	6	7
C_{xx}	28	16	6	3	8	14	8	3

Şekil 13. $T=5$ sn periyoduyla yinelenen (1, 2, 3) dalgacığının öz-ilişki sonucunda gösterimi (pozitif taraf)

Hesaplanan öz-ilişki değerleri dt zamansal kayma değerlerinin (τ) fonksiyonu olarak Şekil 13'te görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi iki dalgacıktan oluşan sinyalin öz-ilişkisi iki noktada en büyük değere ulaşmaktadır. İkinci büyük değer ilk büyük değer yarısı kadar genlikli ve $T = 5$ sn gecikme değerinde oluşmaktadır. Öz-ilişkinin bu özelliğinden yararlanarak girişime uğramış dalgacıkların aralarındaki zaman farkı (gecikme zamanı) bulunmaya çalışılacaktır.

Bu basit açıklamadan sonra sismoloji açısından daha genel bir yaklaşım yapılırsa. İlk yalın sinyal $y(t)$ olsun ve dt gecikme zamanı ile ve a genliğine sahip ikinci sinyal (yankı) $a.y(t-dt)$ ile gösterilirse, bu iki sinyalin girişimi sonucu oluşan toplam sinyal;

$$x(t) = y(t) + a.y(t - dt), \quad 0 < a < 1, \quad (1.4)$$

şeklindedir. $x(t)$ girişmiş sinyalin öz ilişki fonksiyonu $C_{xx}(\tau)$;

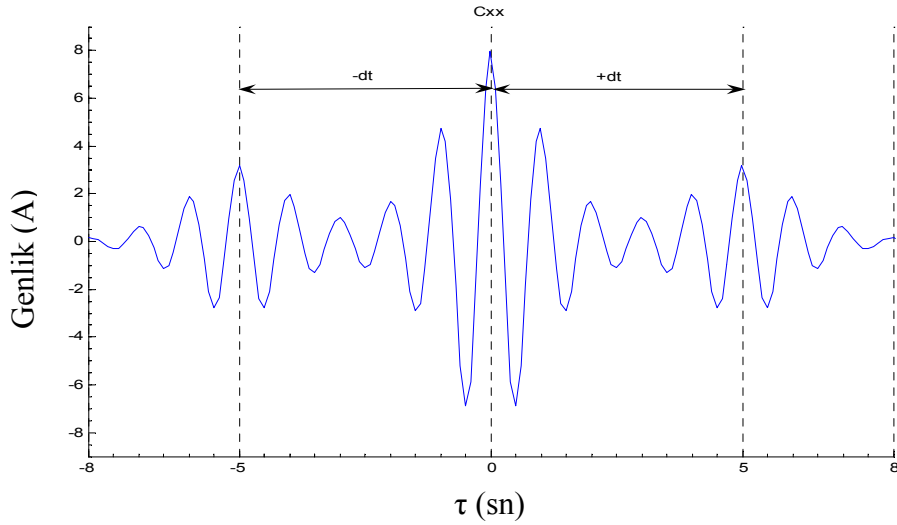
$$C_{xx}(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y(t)ay(t - dt)dt}{\int_{-\infty}^{\infty} y^2(t)dt} \quad (1.5)$$

veya

$$C_{xx}(\tau) = \frac{(1 + a^2)C_{yy}(\tau) + a[C_{yy}(\tau + dt) + C_{yy}(\tau - dt)]}{(1 + a^2) + 2a.\cos(dt)} \quad (1.6)$$

biçiminde yazılabilir [4,5].

Yukarıdaki eşitlikte $C_{yy}(\tau)$, temel sinyal $y(t)$ 'nin öz-ilişki fonksiyonudur. Eşitlik incelendiğinde üç tane bileşenden oluştuğu göze çaracaktır. Bunlar $(1+a^2)$ genliğine sahip $\tau=0$ kayma zamanlı temel sinyalin öz-ilişki fonksiyonu, diğer ikisi ise $\tau=+(dt)$ kadar kaymış a genliğine sahip $a.C_{yy}(\tau+dt)$ fonksiyonu ile $\tau=-(dt)$ kadar kaymış yine a genliğine sahip $a.C_{yy}(\tau-dt)$ fonksiyonudurlar (Şekil 14).



Şekil 14. Bir kaynak ve yankısından oluşmuş bir dalgacığa ait öz-ilişki fonksiyonunun gösterimi

1.8.2. Spektral Sıfırlar (Nulls) Yöntemi

Bu yöntemde girişime uğramış sinyalin genlik veya güç spektrumundan yararlanarak girişim oranı yani iki sinyal arasındaki gecikme zamanı bulunmaya çalışılır. Tanımsal olarak açıklamaya çalışılırsa; zaman ortamında girişime uğramış iki sinyalin Fourier dönüşümü alınarak frekans ortamına aktarılır, buradan genlik veya güç spektrumu hesaplanır. Genlik spektrumundan edilen sonuçlar girişim olayına bağlı olarak birkaç tane spektral maksimum ve minimum olabilir. İşte bu maksimum veya minimum frekans değerleri, sırasıyla grafikte gözlenen minimum veya maksimum sayılarına göre işaretlenir. İşaretlenen noktalardan yaklaşık bir doğru geçecek şekilde çizdirilir ve bu doğrunun eğiminin tersi gecikme zamanını (dt) verir. Bu şekilde gecikme değerini bulmaya “spektral sıfırlar (nulls) yöntemi” adı verilmektedir. Burada tek bir minimum ya da maksimum frekans değeri yerine birden fazla okuma yapılması olası yapılacak hatanın homojen bir şekilde dağılmasına ve daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayabilir.

Yine öz-ilişki yönteminde yapıldığı gibi temel bir sinyal ile onu belirli bir gecikmeyle izleyen tek bir yankıdan oluşan bir sinyali göz önüne alalım. Temel sinyal $y(t)$ ve onu dt gecikme zamanı ile izleyen a genliğine sahip ($0 < a < 1$) yankısı ise $a.y(t-dt)$ ile temsil edilebilir. Bu iki sinyalin toplamını da $x(t)$ ile ifade edersek (1.4) ifadesindeki gibidir.

Zaman ortamındaki sinyali frekans ortamına dönüştürmek için kompleks Fourier dönüşümü alınır ve $x(t)$, $y(t)$ fonksiyonları sırasıyla $X(W)$, $Y(W)$ frekans ortamı karmaşık değerlerini alır.

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t-dt).e^{-iwdt} dt \quad (1.7)$$

olarak yazılabilir. Fourier dönüşümünün zamanda kayma özelliğinden son bağıntı;

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iw(t+dt)} dt \quad (1.8)$$

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iwt} .e^{-iwdt} dt \quad (1.9)$$

$$Y(W) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t).e^{-iwt} dt \quad \text{olduğu için,} \quad (1.10)$$

$$X(W) = Y(W).[1 + a.e^{-iwdt}] \quad (1.11)$$

olarak yazılabilir. Son bağıntıdaki eşitliğin 2. tarafı girişmiş sinyalin karmaşık spektrumudur.

Bu değer $(1 + a.e^{-iwdt})$ karmaşık terimi ile modülasyona uğratılmış $Y(W)$ spektrumuna eşdeğerdir. $Y(W)$ spektrumunu modülasyona uğratan bu $(1 + a.e^{-iwdt})$ karmaşık fonksiyona ait genlik ve faz davranışının incelenmesi temel dalga ile yankısı arasındaki dt 'yi bulma açısından önemli bilgiler taşımaktadır. Modülasyona uğratan bu terimi frekans ortamında $G(W)$ olarak ifade edersek bu $G(W)$ karmaşık spektrumunun genlik spektrumu;

$$G(W) = 1 + a.e^{-iwdt} \quad (1.12)$$

$$|G(W)|^2 = |1 + a.e^{-iwdt}|^2 \quad (1.13)$$

$$e^{-iwdt} = \cos wdt - i \sin wdt \quad (1.14)$$

$$|G(W)|^2 = [1 + (a.\cos wdt - i \sin wdt)]^2 \quad (1.15)$$

$$\text{Güç Spektrumu} = G_{\text{gerçel}}^2 + G_{\text{sanal}}^2 \quad (1.16)$$

$$\text{Gerçel} = 1 + a.\cos wdt \quad (1.17)$$

$$\text{Sanal} = -ia.\sin wdt$$

$$|G(W)|^2 = (1 + a.\cos wdt)^2 + (-ia.\sin wdt)^2 \quad (1.18)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 \cos^2 wdt - i^2 a^2 \sin^2 wdt \quad (1.19)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 \cos^2 wdt + a^2 \sin^2 wdt \quad (1.20)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 (\cos^2 wdt + \sin^2 wdt) \quad (1.21)$$

$$\cos^2 wdt + \sin^2 wdt = 1 \quad (1.22)$$

$$|G(W)|^2 = (1 + a^2 + 2.a.\cos wdt) \quad (1.23)$$

şeklinde yankıların güç spektrumu elde edilebilir. Son eşitlikteki $2.a \cos wdt$ ifadesi spektrumu modülasyona uğratan terim olup taşınan dalga gibi davranmaktadır. Ayrıca $G(W)$ karmaşık spektrumunun faz spektrumunu da $Q(W)$ olarak ifade edilirse,

$$G(W) = 1 + a.e^{-iwdt} \quad (1.12)$$

$$G(W) = 1 + a.\cos wdt - ia.\sin wdt \quad (1.15)$$

$$\text{Faz Spektrumu} = \arctg(\text{Sanal}/\text{Gerçel}) \quad (1.24)$$

$$Q(W) = \frac{-a.\sin wdt}{1 + a.\cos wdt} \quad (1.25)$$

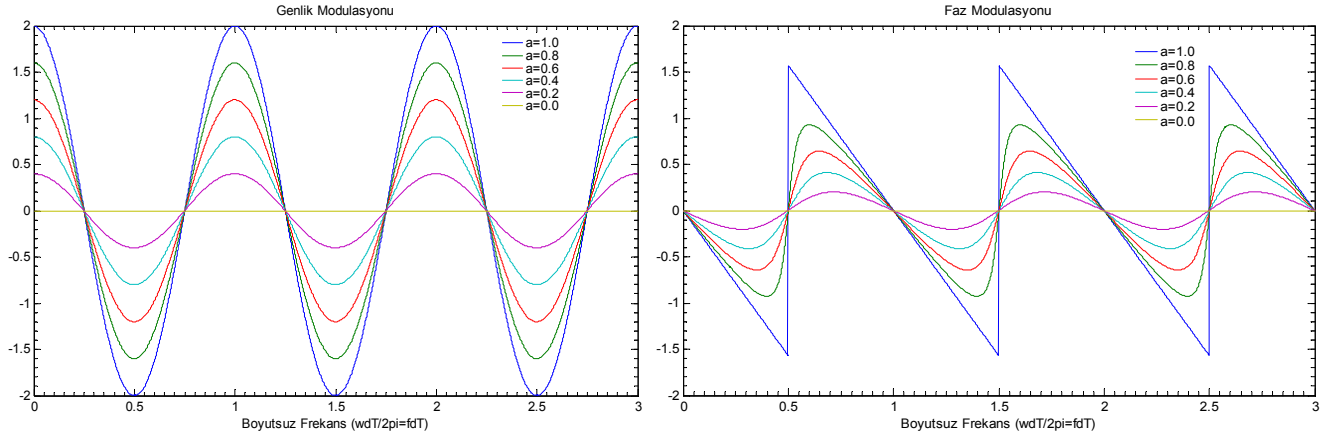
olarak bulunur. Bu iki ifadeyi boyutsuz bir ortamda çizdirilerek sonuçları daha iyi görülebilir. Bunun için

$$m = w.dt/2\pi = f.dt \text{ olarak alınır}$$

$$\text{Genlik modülasyonu} = 2.a.\cos(2\pi.m) \quad (1.26)$$

$$\text{Faz modülasyonu} = \frac{-a.\sin(2\pi m)}{1 + a.\cos(2\pi m)}$$

olacaktır.



Şekil 15. Aralarında dt kadar gecikme olan iki sinyalin toplamından oluşan girişmiş bir sinyale ait genlik ve faz modülasyonları [5]

Şekillerden genlik modülasyonu için,

$$f \cdot dt = 1/2, 3/2, 5/2, \dots \quad \text{için minimum} \quad (1.27)$$

$$f \cdot dt = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad \text{için maksimum}$$

elde edilmiştir. Genlik modülasyonunda minimumlara karşılık “fmin”, maksimumlara karşılık gelen yerler ise “fmak” olarak ifade edilirse,

$$f_{min} = 1/2 \cdot dt, 3/2 \cdot dt, 5/2 \cdot dt, \dots \quad (1.28)$$

$$f_{mak} = 1/dt, 2/dt, 3/dt, 4/dt, \dots$$

olur. Bu iki seri formülize edilirse,

$$f_{min} = \frac{2k-1}{2dt} \quad (1.29)$$

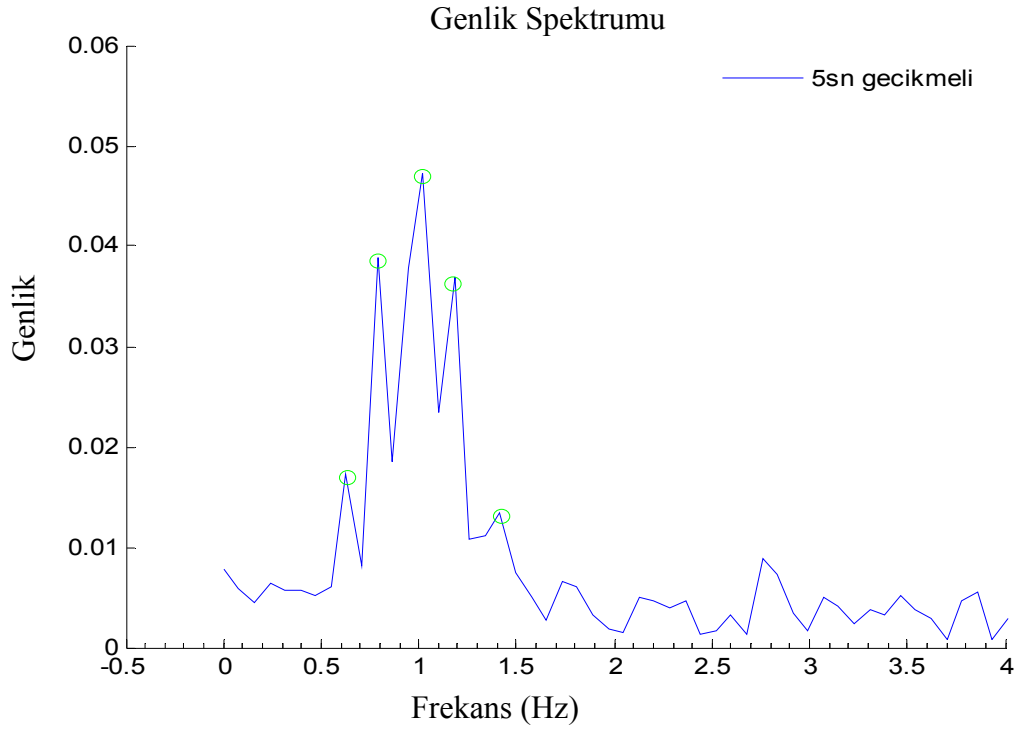
$$f_{mak} = \frac{k}{dt}$$

$k= 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ izlenen spektral minimum veya maksimumların sıra sayısını göstermektedir. Faz ve Genlik modülasyon grafiklerinden de görüleceği üzere (Şekil 15), girişime uğramış bir sinyalin genlik veya güç spektrumu üzerinde izlenen spektral maksimum veya minimum frekanslardan gecikme zamanları bulunabilir. Girişmiş bir sinyalin spektrum ortamında minimum ya da maksimum frekansları arasındaki adım (uzaklık) hep sabit kalmaktadır. dF bu sabit frekans adımını göstermek üzere,

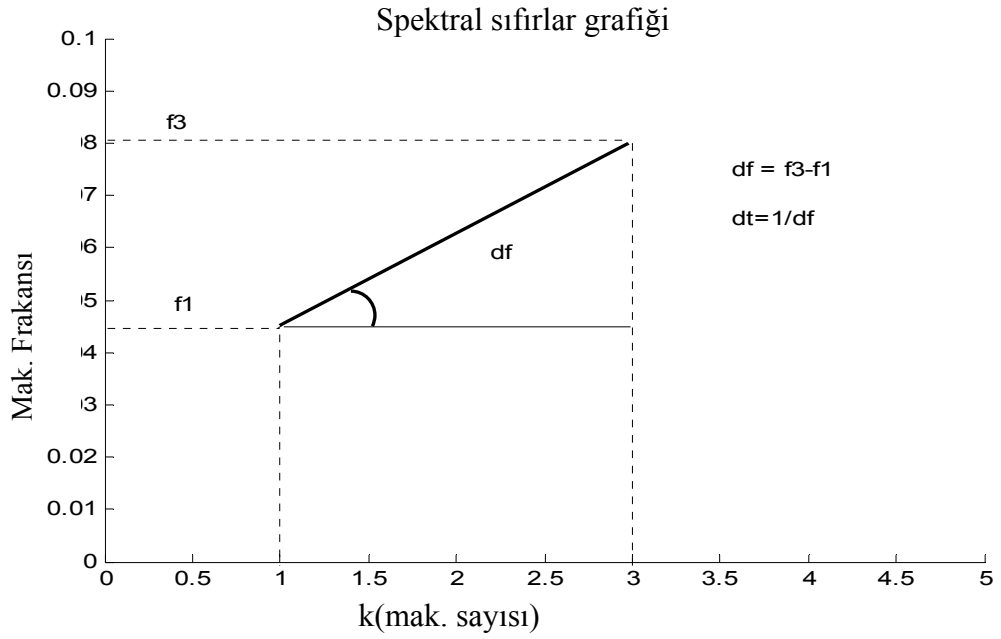
$$\begin{aligned} dF &= \frac{1}{dt} \\ dt &= \frac{1}{dF} \end{aligned} \quad (1.30)$$

eşitlikleri yazılabilir. Yani grafik üzerinde maksimum veya minimumlar frekans ekseninde boyunca $dF = 1/dt$ aralığı ile sıralanmaktadır (Şekil 15). Flinn ve diğ. [4] tarafından önerilen tekniğe göre okunan maksimum ya da minimum frekansları sırasıyla maksimum, minimum sayılarının fonksiyonu olarak çizilmektedir. Çizimden saptanan doğrunun eğiminin tersi dF 'i veya dt gecikme zamanı değerini vermektedir.

Şekil 17'deki grafikte spektral sıfırlar doğrusu adı verilen ve Şekil 16'dan bulunan maksimum ya da minimum frekanslarının sıra sayı numarasına göre noktalar işaretlenir. İşaretlenen bu noktalardan en uygun doğru en küçük kareler yöntemine göre geçirilerek bu doğrunun eğiminin tersi gecikme zamanını verecektir. En küçük kareler yöntemine göre doğrunun çizilmesinin sebebi; spektrum içerisinde denetlenemeyen bazı etkiler nedeniyle maksimum veya minimum frekansların asıl olması gereken yerlerindeki olası hatalardır. Bu yüzden tek bir noktada gecikme zamanı hesaplamaktan ziyade bu noktaların oluşturacağı doğrusal bir grafik düzenlenerek en küçük kareler yöntemiyle noktaların kendi içlerindeki küçük kaymaları düzleştirilmeye çalışılır. Bu şekilde hataların homojen olarak dağılımı sağlanmakta ve doğru sonuca daha da yaklaşılabilmektedir (Şekil 17).



Şekil 16. 5 sn gecikmeli ve %10 gürültülü bir sinyalin genlik spektrumu. Halkalar genliğin maksimum olduğu yerleri göstermektedir.



Şekil 17. Spektral sıfırlar yönteminin analitik gösterimi [9]

1.8.3. Kepstrum Yöntemi

Değişik amaçlar için özellikle son yıllarda artan sayıda farklı kepstrum uygulamalarına rastlanmaktadır. Örneğin otomotiv sektörü için bilgisayar destekli akıllı sistemler sayesinde dişlilerin dönerek yapmış oldukları senkronize hareketlerin bozukluklarının bulunması, tıpta incik kemiğinin korteks tabakası kalınlığının bulunması, yine kalp hastalıklarının teşhisi için kullanılmıştır. Ses sinyallerinin analiz edilmesi ve otomatik ses tanımlama çalışmaları için kullanılmaktadır. Jeofizik'te ise, yansıma sismolojisinde dokonvolüsyon işlemleri için, sismolojide depremler ile yapay patlatma ayırımında, deprem odak parametre hesaplanması gibi değişik uygulamalarda kullanılmaktadır. Tüm uygulamalar için bir genelleme yapılırsa bu tür çalışmalar sinyal içerisindeki benzer periyodik olayların tanımlanmasını amaçlamaktadır. Yani frekans ortamındaki benzer olayların frekans aralıklarının zaman ortamına düşürülmesi amaçlanır. Bu sayede bir olayın aykırı yönler yani farklı bileşenlerinin ayırımı yapılabilir. Kısaca amaçlanan olayların olağan durumlarından farklarının bulunmasıdır.

Kepstrum düşüncesi Poisson [6], Schwarz [7], Szegö [8] ve Kolmogrov [9] nedensel sistemlerin sistem fonksiyonunun elde edilmesinde; rastgele süreçlerin güç spektrumunun araştırılması problemlerinin çözümü için yaptıkları klasik çalışmalarında ortaya atılmıştır (Silvia ve Robinson [10]). Jeofizikte ilk kez spektral ayrıştırma probleminin tartışılmasında Robinson [11] tarafından kullanılmıştır. Daha sonra, Bogert ve diğ., [12] veri işlemlerinde de kullanmışlardır. Bunu, Bogert ve Ossanna [13], Oppenheim ve Schafer [14], Tribolet [15], Kemerait [16], Kemerait ve Childers [17], Kemerait ve Sutton [18] ve diğer birçok araştırmacının çalışmaları izlemiştir. Kepstrum kelimesi literatüre Bogert, Healy ve Tukey [12], tarafından önerilmiş olup, bundan önce klasik olarak kullanılan spektrum çalışmalarına yeni bir uygulama tekniği olarak, spektrumun değiştirilmiş bir halidir. Kepstrum adı verilen bu yöntem ile temelde yine girişmiş sinyallerin güç spektrumundan yararlanarak, aralarındaki gecikme zamanı bulunmaktadır. Yine bir kaynak ve bir yankılı toplam sinyal (1.4) ifadesiyle tanımlanabilir. Bu sinyalin Fourier dönüşümü alınarak bulunacak güç spektrumu eşitliği,

$$|X(W)|^2 = |Y(W)|^2 \cdot (1 + a^2 + 2.a \cos(2\pi f . dt)) \quad (1.31)$$

elde edilebilir. Yukarıdaki son eşitlik bir sinyal ve aynı forma sahip yankısından oluşan dalganın güç spektrumunu göstermektedir. Bu ifadenin logaritması alınarak sonuç iki bileşenli bir toplama işlemine dönüştürülür.

$$C(W) = \log|X(W)|^2 = \log|Y(W)|^2 + \log(1 + a^2 + 2.a \cos(2\pi f .dt)) \quad (1.32)$$

Geleneksel zaman ortamı sinyal analizlerinde Fourier dönüşümüyle, örneğin periyodik bileşenler çizgiler ya da keskin delta fonksiyonları şeklinde gösterilirler. Bu yüzden spektrumun logaritması alınarak, orijinal sinyale ait yankı da benzer şekilde bir delta fonksiyonu ile gösterilebilir. Yankıya ait genlik değeri, $0 \leq a \leq 1$ arasında olduğu kabulü ile (1.33) ifadesi elde edilebilir.

$$C(W) = \log(X(W))^2 = \log(Y(W))^2 + 2.a \cos wdt \quad (1.33)$$

Sinyalin keprstrumu, (1.33) ifadesinin ters Fourier dönüşümü alınarak elde edilebilir. Bunu da $C(v)$ olarak gösterirsek,

$$C(v) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \text{Log}(X(W))e^{iWv} dw \right|^2 \quad (1.34)$$

biçimde olacaktır. Yani keprstrum, logaritmik güç spektrumunun, ters fourier dönüşümüdür(Cohen [20]). Burada v 'nin birimi sn ancak ortam zaman ortamı değil "Quefreny" ortamıdır.

Bu yeni spektral gösterim ne frekans ortamı ne de gerçek zaman ortamıdır. Bu yüzden ileride benzer içerikli kavramlar arasında karışıklık yaratmamak için Bogert ve diğerleri "quefreny ortamı" diye yeni bir tanımlama yapmışlardır ve onlar spektrum ortamında logaritma alınarak yapılan uygulamaya da keprstrum adını vermişlerdir. Keprstrum kelimesi türetilirken spektrum kelimesine benzer olması için küçük harf değişiklikleriyle oluşturulmuştur Bu yöntemle Bogert ve diğ. [12] gecikme zamanlarını bulmaya çalışmışlardır. Son eşitlikte ile son eşitlik elde edilebilir. İlerde daha detaylı anlatılacaktır.

Tablo 2. Kepstrum ve Spektrum ortamı için kullanılan terimler [16]

KEPSTRUM ORTAMI	FREKANS ORTAMI
Quefrensy = Quefrekans	Frekans
Cepstrum	Spektrum
Gamnitüd	Amplitüd (Genlik)
Rahmonic	Harmonik
Repiod	Periyot
Liftering	Filtering (Filtreleme)
Lifter	Filter (Filtre)

Kepstrumu elde etmek için klasik kepstrum, kompleks kepstrum ve öz ilişkiden hesaplanan kepstrum olmak üzere 3 farklı yol vardır.

1.8.3.1. Klasik Kepstrum

Yine bir kaynak ve bir yankıdan oluşan girişirilmiş sinyali göz önüne alalım. Yankının genliği 0 ile 1 arasında olduğu farz edilerek (1.4) ifadesi elde edilir. İşlemlerin akış diyagramı Şekil 18'de verilmiştir. (1.4) ifadesinin Fourier dönüşümü (1.7) ifadesiyle verilmiştir.

Fourier dönüşümünün zamanda kayma özelliğinden,

$$f(t - a) \rightarrow F(W)e^{-iwa} \quad (1.35)$$

olduğundan,

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-iw(t+dt)} dt \quad (1.8)$$

yazılabilir. Ayrıca (1.8) ifadesi

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-iwt} .e^{-iwdt} dt \quad (1.9)$$

yazılır. Burada

$$Y(W) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-iwt} dt \quad (1.10)$$

dir. (1.9) ifadesini kısaltarak yazarsak

$$X(W) = Y(W) + a.Y(W).e^{-iwdt} \quad (1.36)$$

ve

$$X(W) = Y(W)[1 + a.\exp(-iwdt)] \quad (1.37)$$

elde edilir. Burada

$(1 + a.\exp(-iwdt))$ terimi karmaşık bir spektrum gibi düşünülürse,

$$G(W) = 1 + a.\exp(-iwdt) \quad (1.38)$$

$$|G(W)|^2 = [1 + a.\exp(-iwdt)]^2 \quad (1.39)$$

$$\exp(-iwdt) = \text{Cos}wdt - i\text{Sin}wdt \quad (1.40)$$

$$= \underbrace{[1 + a.\text{Cos}wdt]}_{\text{Gerçel}} - \underbrace{ia.\text{Sin}wdt}_{\text{Sanal}} \quad (1.41)$$

Güç Spektrumu = Gerçel² + Sanal²

$$\text{Gerçel} = 1 + a.\cos wdt \quad (1.17)$$

$$\text{Sanal} = -ia.\sin wdt$$

$$|G(W)|^2 = (1 + a.\cos wdt)^2 + (-ia.\sin wdt)^2 \quad (1.18)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 \cos^2 wdt - i^2 a^2 \sin^2 wdt \quad (1.19)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 \cos^2 wdt + a^2 \sin^2 wdt \quad (1.20)$$

$$|G(W)|^2 = 1 + 2a \cos wdt + a^2 (\cos^2 wdt + \sin^2 wdt) \quad (1.21)$$

$$\cos^2 wdt + \sin^2 wdt = 1 \quad (1.22)$$

$$|G(W)|^2 = (1 + a^2 + 2.a.\cos wdt) \quad (1.23)$$

Yankının güç spektrum eşitliğidir ve kaynak ile beraber toplam güç spektrumu ise,

$$F(W) = Y(W) \cdot |G(W)|^2 \quad (1.42)$$

$$F(W) = Y(W) \cdot [1 + a^2 + 2a.\cos wdt] \quad (1.43)$$

Son eşitliğin logaritması alınarak,

$$\text{Log}F(W) = \text{Log}Y(W) + \text{Log}[1 + a^2 + 2a.\cos wdt] \quad (1.44)$$

sonucuna ulaşılabilir. Formülasyondaki dt terimiyle ilgilenileceği için, eşitliğin 2. kısmında işlemler sürdürülürse,

$$a^2 + 2a.\cos wdt = x \text{ dersek,}$$

$$\text{Log}(1+x) = \left(x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots\right) \quad -1 < x < 1 \quad (1.45)$$

$$\text{Log}F(W) = \text{Log}Y(W) + \left[a^2 + 2a \cdot \text{Cos}wdt \frac{(a^2 + 2a \cdot \text{Cos}wdt)^2}{2} + \frac{(a^2 + 2a \cdot \text{Cos}wdt)^3}{3} - \dots \right] \quad (1.46)$$

$$= \text{Log}Y(W) + [a^2 + 2a \cdot \text{Cos}wdt + 2a^2 \cdot \text{Cos}^2wdt + \dots] \quad (1.47)$$

$$2a^2 \cdot \text{Cos}^2wdt = a^2 + a^2 \cdot \text{Cos}2wdt \quad (1.48)$$

$$= \text{Log}Y(W) + [2a \cdot \text{Cos}wdt + a^2 \cdot \text{Cos}2wdt + \dots] \quad 0 < a \leq 1 \quad (1.49)$$

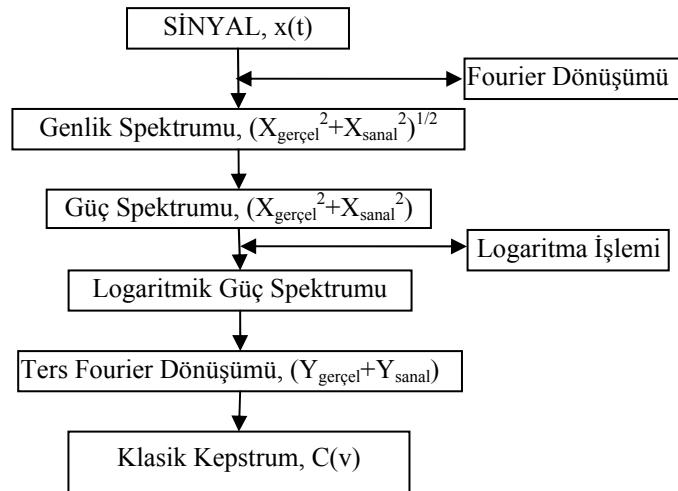
Burada $a^2 \cdot \text{Cos}2wdt$ ve diğer sonraki terimlerinde a 'nın karesi ve daha fazla üssü alınmasından dolayı terimlerin değeri ihmal edilebilir.

$$\text{Log}F(W) = \text{Log}Y(W) + 2a \cdot \text{Cos}wdt \quad (1.50)$$

Kepstrumu bulmak için son eşitliğin ters Fourier dönüşümü alınarak,

$$F^{-1}\{\text{Log}F(W)\} = F^{-1}\{\text{Log}Y(W) + F^{-1}\{2a \cdot \text{Cos}wdt\}\} \quad (1.51)$$

biçiminde yazılabilir. Bu son eşitlik ters Fourier dönüşümü alınmış halini $C(v)$ olarak gösterilirse, $C(v)$ kepstrum ortamı olarak adlandırılır, ne zaman ortamı ne de frekans ortamı değildir. Aslında formülasyonlara bakıldığında frekans ortamından ters Fourier dönüşümü işlemi, zamana ortamına tekrar dönüldüğünü düşünebilir fakat logaritma işleminden sonra zaman ortamının ilk zaman ortamı olmayacağı açıktır.



Şekil 18. Klasik kepstrum için akış diyagramı

1.8.3.2. Öz-ilişki Kepstrumu

Frekans ortamında yapılan çalışmalarda iki yoldan güç spektrumu hesaplanabilir. İlki yukarıda anlatılan Fourier dönüşümüyle genlik spektrumu oradan da güç spektrumunun hesaplanmasıdır. İkinci yol ise, öz-ilişki fonksiyonundan yararlanarak güç spektrumu elde edilmesidir. Bunun için zaman ortamında sinyal kendisiyle ilişkiye tabi tutulur, daha sonra çıkan sonucun Fourier dönüşümü alınarak güç spektrumu bulunabilir. (1.4) ifadesinden bir kaynak ve bir yankısından oluşan öz-ilişki fonksiyonu (1.51)'deki gibi elde edilebilir.

$$R_{xx}(k) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot x(t+k) dt, \quad k = \text{kayma miktarı} \quad (1.52)$$

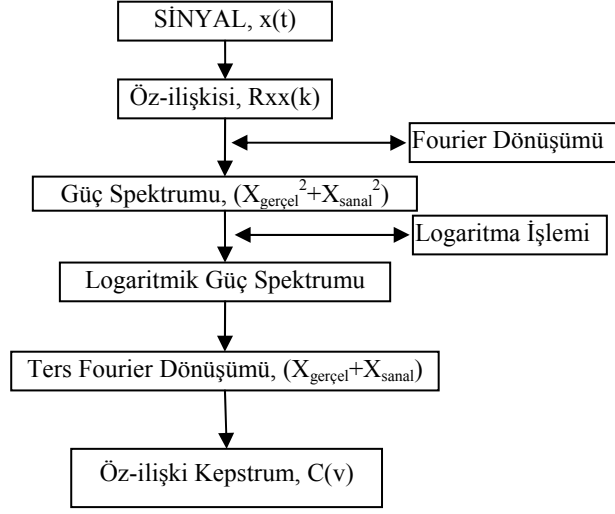
Fourier dönüşümünün çarpma ve kaydırma özellikleri göz önüne alınırsa $x(t)$ fonksiyonunun öz-ilişkisi $R_{xx}(k)$ ile bu ilişkinin Fourier dönüşümü arasında,

$$R_{xx}(k) = X(W) \cdot X(W)^* \Rightarrow R_{xx}(k) = |X(W)|^2 \quad (1.53)$$

olduğu görülür. $R_{xx}(k)$ 'nin Fourier dönüşümü $x(t)$ 'nin güç spektrumu verir.

$$R_{xx}(k) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot a \cdot y(t-dt) dt}{y^2(t) dt} \quad (1.54)$$

Böylelikle öz-ilişki fonksiyonunun sonucunun Fourier dönüşümü alınıp klasik kepstrumda yapılan diğer adımların aynıları yapılarak öz-ilişki kepstrumu elde edilebilir.



Şekil 19. Öz-ilişkiden hesaplanan kepstrum için akış diyagramı

1.8.3.3. Kompleks Kepstrum

Kompleks kepstrum tekniği ilk olarak R.Schafer'in [20] doktora çalışmasında dalga bileşenlerinin ayırt edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemin geliştirilmesinin amacı klasik kepstrumun eksik taraflarını gidermek amacıyla. Oppenheim ve Bogert kompleks kepstrumu, homomorfik dekonvolüsyon olarak lineer olmayan bir süzgeçleme yöntemi gibi uygulamışlardır. Tanımsal olarak sinyalin kompleks spektrumunun, kompleks logaritmasının ters Fourier dönüşümü olarak tanımlanabilir.

(1.4) ifadesinde bir kaynak ve bir yankısından oluşan sinyalin Fourier dönüşümü alınarak frekans ortamında ifadesi,

$$X(W) = Y(W) \cdot [1 + a \cdot e^{-i\omega dT}] \quad (1.11)$$

dir. Yukarıdaki tanımlamaya göre sinyalin kompleks logaritması alındığından faz bileşeni de olacağı için, kompleks spektrumu gerçel ve sanal bileşenleri türünden,

$$X(W) = a(W) + ib(W) \quad (1.55)$$

$$X(W) = [a(W)^2 + b(W)^2]^{1/2} e^{tg^{-1}\left(\frac{b(W)}{a(W)}\right)} \quad (1.56)$$

$$X(W) = A(W)e^{i\theta(W)} \quad (1.57)$$

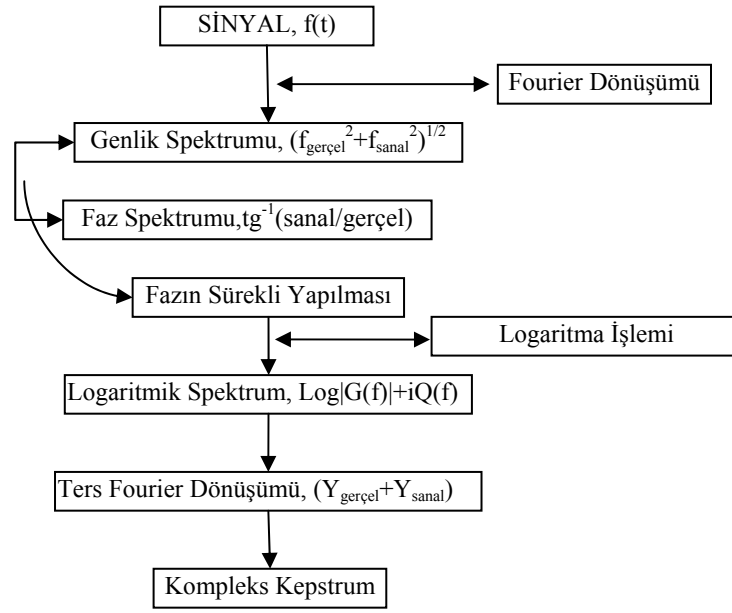
şeklinde yazılabilir. Son bağıntının logaritması alınırsa,

$$\hat{F}(W) = \text{Log}(A(W)) + i\theta(W) \quad (1.58)$$

yazabiliriz. $\hat{F}(W)$ 'nin ters Fourier dönüşümü $F(c)$ kompleks kepstrumunu vereceğinden,

$$F(c) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{F}(W) e^{iwc} dw \quad (1.59)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada c 'nin birimi yine sn olup ortam zaman değil quefrensy ortamıdır. Kompleks kepstrumu, klasik kepstrumdan ayıran en önemli özellik adi logaritma yerine kompleks logaritmanın alınmasıdır. Kompleks logaritmanın alınmasıyla, frekans ortamında faza ait bilginin kaybolması önlenmektedir. Diğer kepstrum çalışmalarında güç spektrumundan hesaplamalar yapıldığı için faza ait bilgiler kullanılmamaktadır. Fakat faz bilgisinin önemli olduğu çalışmalarda diğer iki kepstrum tekniği yetersiz kalacaktır. Ancak kompleks kepstrum hesaplanması için faz bilgilerinin sürekli olması gerekliliği vardır. tg^{-1} fonksiyonu $\pi/2$ 'deki süreksizlikleri faz spektrumunda süreksizliğe neden olmaktadır. Uygulamada faz eğrisinin $-\pi < x < \pi$ için sürekli, 2π periyodu ile tekrarlanan tek bir fonksiyon olması istenir. Bunun için Schafer [20], Stoffa ve diğ. [21] ve Tribolet [22] değişik algoritmalar geliştirmişler.



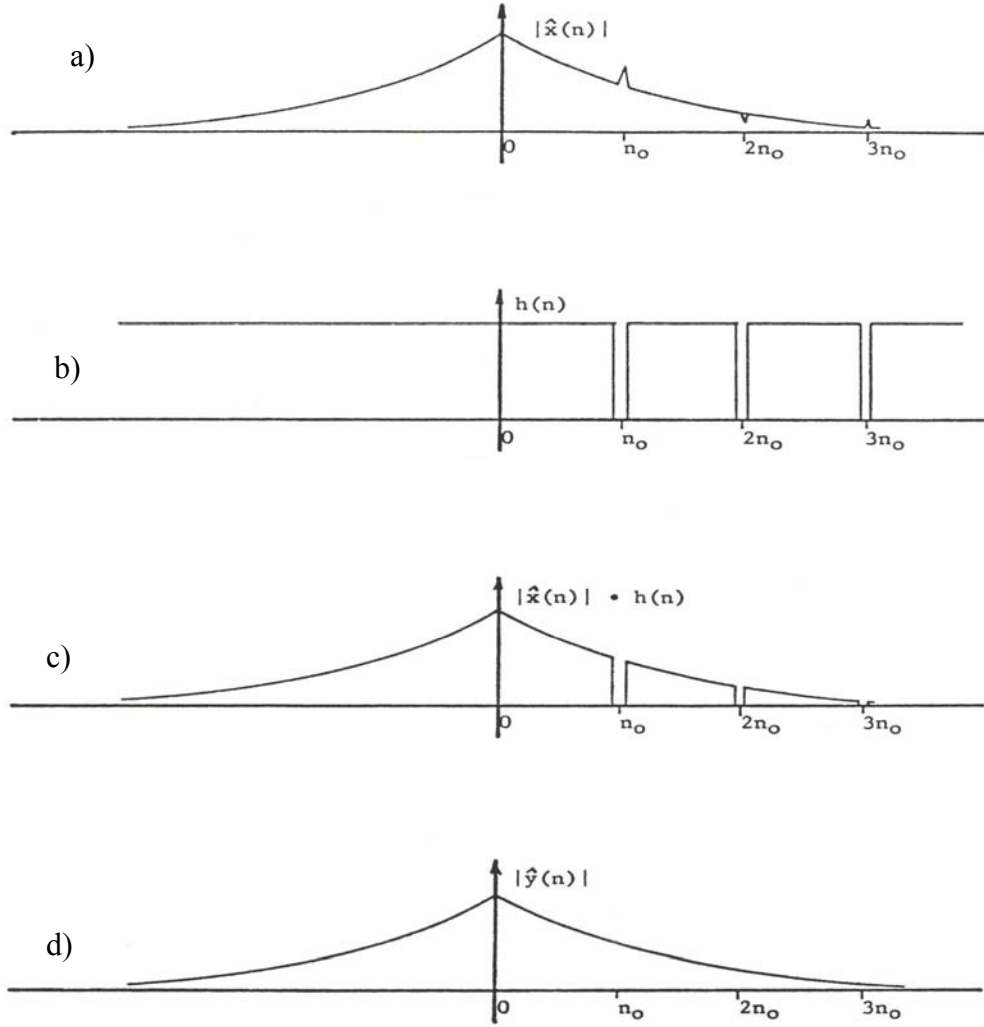
Şekil 20. Kompleks kepstrum için akış diyagramı

1.8.4. Kaynak Fonksiyonunun Elde Edilmesi

Kompleks kepstrum çalışmalarında lineer filtreleme uygulamaları A.V.Oppenheim [23] tarafından önerilmiş olup, girişmiş dalgaları ayırmak veya sadece kaynak dalgacığını elde etmek için uygulanmıştır. Lineer filtreleme yapılarak kaynak fonksiyonu üzerindeki periyodik bileşenler kaldırılabilir. Filtreleme işlemi kepstrum ortamında uygun bir filtre ile verinin çarpılmasıyla elde edilebilir. Genel olarak kompleks kepstrum üzerinde yapılabilecek üç tür filtreleme vardır.

1.8.4.1. Tarak (Comb) Filtreleme

Kompleks kepstrumun durumuna bağlı olarak çıkacak sonuç ile hazırlanacak bir tarak fonksiyonunun filtre işlemine tabi tutulmasıyla yapılır. Tarak fonksiyonu hazırlanırken, kepstrum üzerinde yankılara karşılık gelen yerler “sıfır” diğer yerler “bir” olacak şekilde uygun bir fonksiyon oluşturulur. Daha sonra filtreleme işlemi sırasında sıfırlara karşılık gelen yerler için sıfırın bir önceki bir sonraki değerlerinin ortalaması alınarak çıkartılan sıfır noktalarına yerleştirilir.

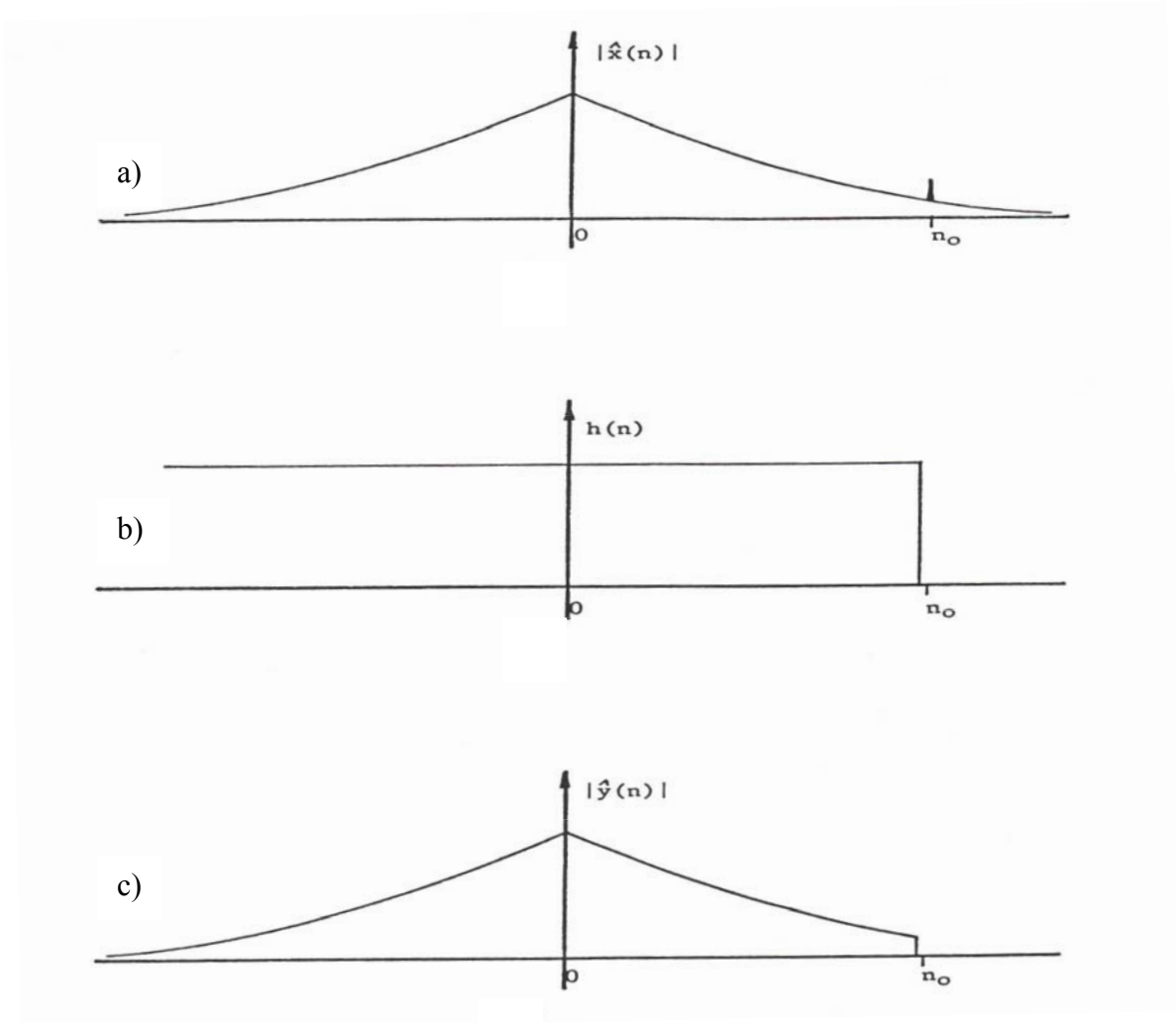


Şekil 21. Tarak fonksiyonuyla filitreleme. a) Kompozit dalğanın kompleks kepstümü, b) Uygun hazırlanmış bir tarak fonksiyonu, c) Tarak fonksiyonuyla kompleks kepstümün çarpılması, d) Çarpma işleminden sonra fonksiyonun düzgünleştirilmesi [16]

Şekilde ilk önce girişmiş sinyalin kompleks kepstümü hesaplanır (Şekil 21 a). Kompleks kepstüm üzerinde n_0 , $2n_0$ noktalarında görülen pikler yankılara ait tekrarlanmaları temsil etmektedir. Bu yankıları sıfırlayacak tarak fonksiyonu ise (Şekil 21 b) de gösterildiği şekilde olacaktır. Şekil 21 c'de ise tarak fonksiyonuyla kompleks kepstümün çarpılması sonucu gözükmetedir. Burada n_0 , $2n_0$ noktalarını değeri çarpım sonucu sıfır olacaktır. Bu sıfır noktalarının, noktanın her iki yanındaki değerlerin ortalaması alınarak düzgünleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 21 d). Daha sonra elde edilen fonksiyonun ters Fourier dönüşümü alınarak zaman ortamında kaynak fonksiyonunu elde edilmiş olacaktır.

1.8.4.2. Alçak Geçişli (Short-pass) Filtreleme

Girişmiş bir sinyal içersinden yankıların ayrılması için diğer bir filtreleme türüdür. Bu tür filtrenin kullanılması sırasında zaman ortamında en küçük gecikmeye sahip yankının iyi belirlenmesi gerekir. En küçük gecikmeye sahip yankının yeri bulunduktan sonra bu noktadan itibaren filtre fonksiyonuna sıfırlar yerleştirilir. Bu şekilde dalga içersinde bulunabilecek diğer yankıların etkileri de giderilmiş olacaktır ve böylelikle sadece kaynak fonksiyonu elde edilmiş olur (Şekil 22).

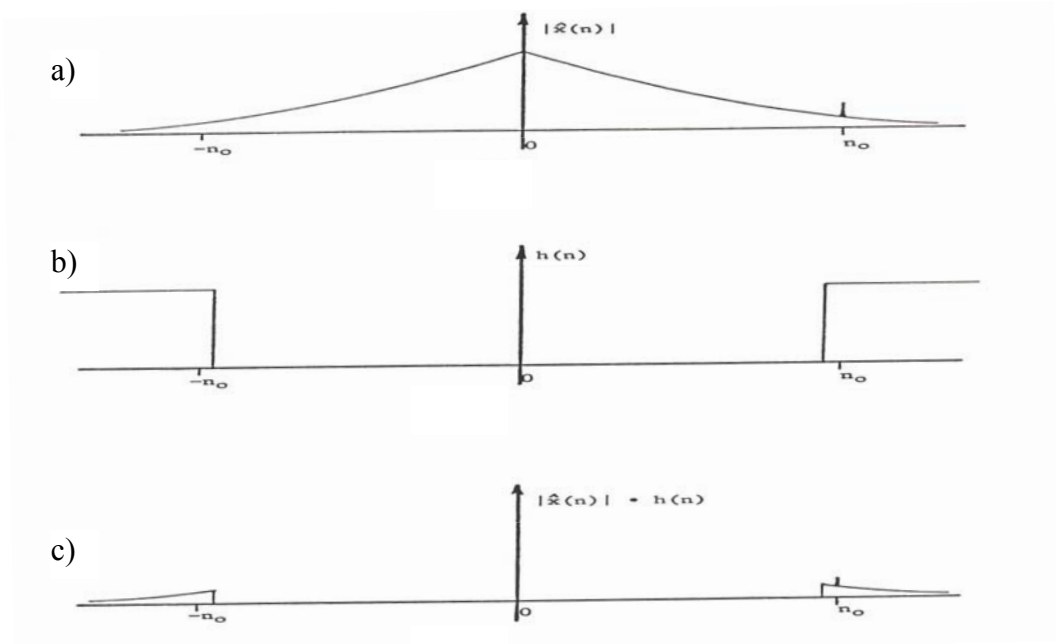


Şekil 22. Alçak geçişli filtreleme. a) Kompozit dalganın kompleks kepstrumu, b) Uygun bir alçak geçişli filtre fonksiyonu, c) Alçak geçişli filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum sonucu [16]

Alçak geçişli filtreleme yaparken, yine benzer işlemler takip edilebilir. İlk önce girişmiş sinyalin kompleks kepstrumu hesap edilerek en küçük gecikmeye sahip yankının yeri bulunarak buradan itibaren bütün değerleri sıfır olan bir filtre fonksiyonu hazırlanır. Hazırlanan bu filtre fonksiyonu daha sonra kompleks kepstrumla çarpılarak en küçük gecikmeli yankıdan itibaren tüm diğer olaylardan kurtulabilinir.

1.8.4.3. Yüksek Geçişli (Long-pass) Filtreleme

Bu filtreleme tekniği alçak geçişli filtreye tam tersi bir işlem yürütmektedir. Burada yine önemli olan yankıların yerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Uygulamada orjinden en küçük zamanlı gecikmeye kadar olan yerler "sıfır" diğer yerler "bir" olacak şekilde yüksek geçişli bir filtre fonksiyonu hazırlanır. Filtrelemeden sonra elimizde sadece yankılara ait etkiler kalacaktır. Kaynak fonksiyonunu elde etmek için filtrelenmiş fonksiyonla filtrelenmeden önceki fonksiyon çıkartılırsa sadece kaynağın etkisi bulunabilir (Şekil 23).



Şekil 23. Yüksek geçişli filtreleme. a) Kompozit dalganın kompleks kepstrumu, b) Uygun bir yüksek geçişli filtre fonksiyonu, c) Yüksek geçişli filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum sonucu [16]

1.8.5. Kepstral F-istatistik Yöntemi ve Gelişimi

Sismik bir olayın kaynak mekanizmasına ait bilgilerin, kaynaktan çıkarak yüzeyde yansımaya maruz kalmış derinlik fazlarının iyi ayırt edilmeleriyle bulunabileceği daha önce değinilmişti. Bu dalga fazlarının ayırımı için değişik yöntem ve uygulamalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunlardan biri olan kepstrum yöntemi de girişime uğramış dalga fazlarını ayırmak için 1960'lardan beri kullanılmaktadır. İlk geliştirildiği günlerden bu güne kadar kepstrum üzerinde değişik çalışmalar ve yeni algoritmalar oluşturulmuştur. Temelde frekans ortamında logaritma alınmasına bağlı olan kepstrum tekniği ile günümüzde istatistikten de yararlanılarak faz ayırımları daha da belirginleştirilmeye çalışılmıştır. Kepstral F-istatistik adı verilen bu yöntemle kepstrum ortamında durağanlık gösteren “delta fonksiyonları” daha da belirginleştirilmeye çalışılmıştır. Yöntemle yankılardan oluşmuş sismik bir verinin kepstrum ortamındaki delta fonksiyonlarının önemli bir oranda düzelleme göstermesine katkıda bulunulmuştur. Bu metot özellikle yerel bir sismik istasyon ağı tarafından kayıt edilen sismik olayların derinlik fazları (pP, sP, vb) yankılarının belirlenmesi için uygundur.

1.8.5.1. Kepstral F-istatistik

Kepstral teknikler geçmişte ilk kısımda verilen bazı yazarlar tarafından sismik olayların derinlik tespiti için kullanılmıştır, fakat elde edilen sonuçların karmaşık ve yöntemin tam olarak nasıl kullanılacağı gösterilemediği için istenilen amaçlara ulaşamamıştır. Kepstral F istatistik Alexander [28] tarafından geliştirilen “dizilim yığılmalı” uygulamanın iyileştirilmiş halidir ve yankı belirleme ve gecikme zamanları hesaplamaları için ideal bir yöntemdir. Kepstral F istatistik, kepstrum içerisindeki baskın piklerin istatistiksel olarak bir değerlendirmesini kapsamaktadır [33].

F-istatistik, matematiksel olarak birden fazla birbirleriyle bağımsız ölçüm yığınları arasında bir karşılaştırma yapmak için kullanılır. Burada toplam değişmeye katkıda bulunan, değişik ölçüm noktalarında alınmış, veri yığınlarının değişim miktarları arasındaki ilişkiyi ve olası hata miktarlarının bulunması amaçlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir.

- Veri yığınlarını oluşturan değerler birbirine benzer ve homojen olmalıdır.
- Veri yığınları birbirlerinden bağımsız olarak elde edilmelidir.
- Veriler, sürekli karakterde toplanmalıdır.
- Veri yığınları en az 20 değerden oluşmalıdır.
- Veri yığınlarını oluşturan değerler birbirine ya eşit ya da çok yakın olmalıdır.

Jeofiziksel olarak, bir istasyon ağı tarafından kayıt edilen bir depreme ait veriler de F-istatistik yöntemi kullanılmasıyla, depremin odak derinliğine ait bilgiler daha güvenilir olarak elde edilebilir. Bunun için istasyonlarda alınan deprem kayıtları, daha önce anlatıldığı gibi normal kepstrum işlemlerine tabi tutularak, her bir istasyon için kepstrum değerleri bulunur. Daha sonra kaç tane istasyonda ölçüm alınmışsa hepsi yığılmalı şekilde toplanarak toplam kepstrumları bulunur [34]. Daha sonra bu toplam kepstrumun istasyon sayısına bölünmesiyle ortalama kepstrum bulunarak bu ikisi arasındaki ilişkiden depremin odak derinliğinin ne kadar güvenilir olduğu saptanmaya çalışılır. Formülasyonla açıklamaya çalışırsak,

N : İstasyon sayısı

d : Deprem fazları arasındaki gecikme zamanı

YOK : Yığılmış ortalama kepstrum

YM : Yanılgı miktarı

YK : Yığılımlı kepstrum

\overline{okep} = Ortalama kepstrum

kep = Normal kepstrum

$$F_{2,2(N-1)(d)}(d) = (N-1) \frac{YOK}{YK} \quad (1.60)$$

bu ifade F-istatistik olarak isimlendirilir ve sinyal/gürültü olarak ta kullanılabilir. Yukarıdaki (1.64) formülü yığılmış ortalama kepstrum ve yanılıklı kepstrumdan oluşmaktadır. Bunlar ise,

$$YOK(d) = \sum_{i=1}^N N \left| \overline{okep}(d) \right|^2 \quad (1.61)$$

burada ortalama kepstrum,

$$\overline{okep}(d) = N^{-1} \sum_{i=1}^N kep_i(d) \quad (1.62)$$

yanılıklı miktarı ise,

$$YM(d) = \sum_{i=1}^N \left| kep_i(d) - \overline{okep}(d) \right|^2 \quad (1.63)$$

$$YM(d) = YK(d) - YOK(d) \quad (1.64)$$

olarak verilebilir. Yığılımlı kepstrum ise aşağıda ki gibidir.

$$YK(d) = \sum_{i=1}^N \left| kep_i(d) \right|^2 \quad (1.65)$$

Tek bir istasyondan hesaplanan kepstrum ya da farklı pencere fonksiyonlarıyla elde edilmiş kepstrum sonuçlarının ortalamadan olan farklarını belirtir. Yığılımlı kepstrum ve ortalama kepstrum birden fazla istasyon ölçümleriyle ya da değişik pencereleme sonucunda elde edilen verilerden sağlanabilir. Tek bir sismogram kaydı üzerinde değişik pencere fonksiyonlarının uygulanması sonucunda elimizde birden fazla kepstrum sonucu olacaktır. Bu sonuçlar yukarıda yazılan eşitlikler yardımıyla F-istatistiği yapılabilir. Yığılımlı kepstrum (YK) Alexander ve diğ.'nin [34] yaptıkları toplam yığılımlı kepstrumun aynısıdır ve basit olarak değişik istasyonlarda hesaplanan kepstrum değerlerinin toplanması sonucu elde edilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yapay Sinyaller Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Deprem dalgaları çok değişik etkilere maruz kalarak sismograflarda kayıt edilmektedir. Kayıt edilen bir deprem verisinde yüzlerce değişik faz bilgisi bulunabilir. Deprem kayıtlarının güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için bu dalga fazlarının ayrımının uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir. Temel olarak burada çalışılacak dalga çeşidi, cisim dalgaları ve genelde P dalgası ve fazlarıdır (P coda). Bunun için bu dalga şeklini en iyi temsil edecek yapay bir dalga kullanılacaktır. Berlage fonksiyonu adı verilen bu dalgacık Farnbach [35], Kemerait ve Sutton[18] tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu dalgacık telesismik bir P fazını temsil etmekte olup merkez frekansı 1 Hz, spektral genlik değerleri 5 Hz de 30dB atenuasyona uğramaktadır[18].

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t^2 \exp[2-2t] \sin(2\pi t) & t \geq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

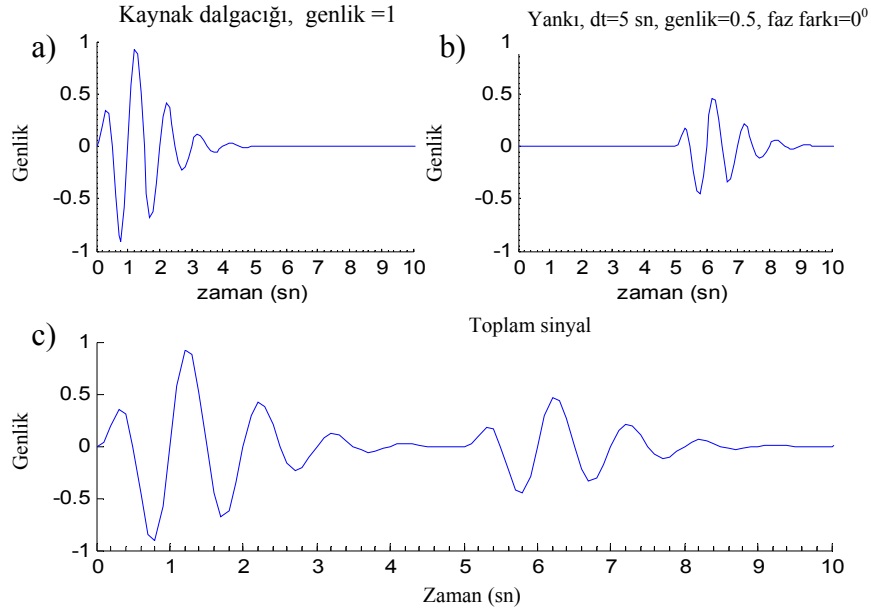
Burada yapılan yapay model çalışmaları için çoğunlukla yukarıdaki eşitlikte verilen Berlage fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 24 a). Fakat zaman zaman Berlage fonksiyonunun formülasyonu amaca göre düzenlenerek yapay dalga fazı olarak ta kullanılmıştır.

2.1.1. Öz-İlişki Yöntemi

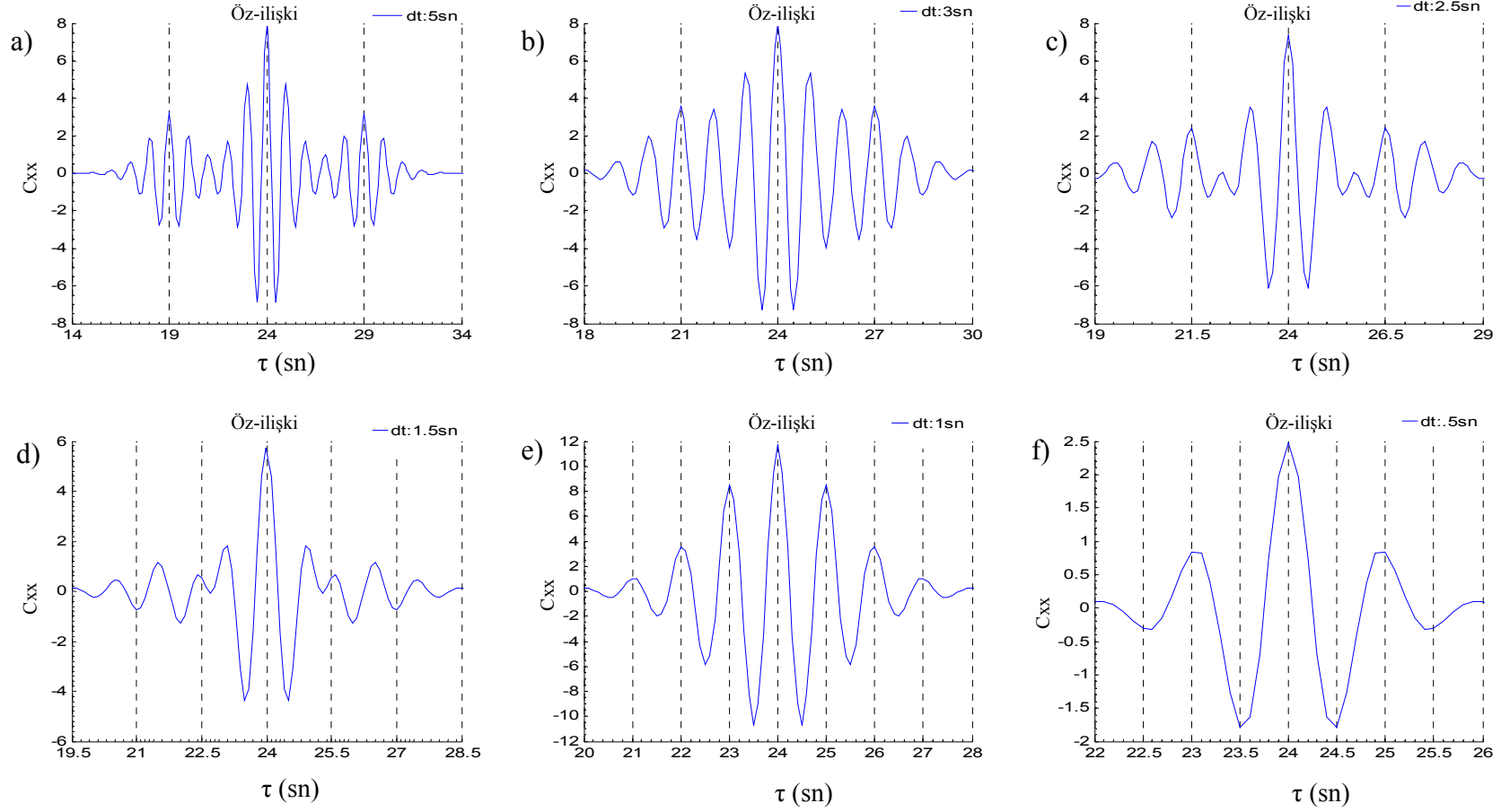
Zaman ortamında girişime uğramış sinyallerin birbirlerine göre gecikme zamanlarının belirlenmesi için uygulanan yöntemlerden biri olan öz-ilişki yöntemi; birbirine benzer dalga şekillerinden oluşan girişmiş bir sinyalin öz-ilişki fonksiyonunun alınmasıyla aralarındaki gecikme zamanının bulunmasını ve çıkan öz-ilişki fonksiyonunun yapısından da faz bilgisinin bulunmasını amaçlamaktadır. Girişime uğramış, dalga şekilleri birbirine benzer iki dalgacıktan oluşan bir sinyale ait öz-ilişkinin matematiksel eşitliğinde üç adet birleşikten söz edilebilir. $(1+a^2)$ genlikli temel sinyalin öz-ilişki değeri ve yine

temel sinyale göre $\pm dt$ zamanlarında yankının oluşturduğu a genliğine sahip yan salınımlardır [5].

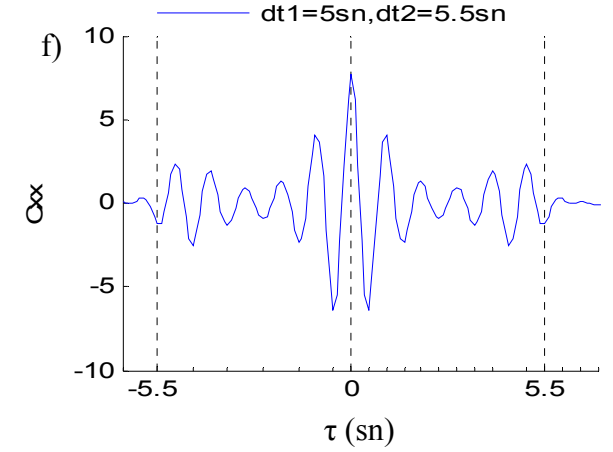
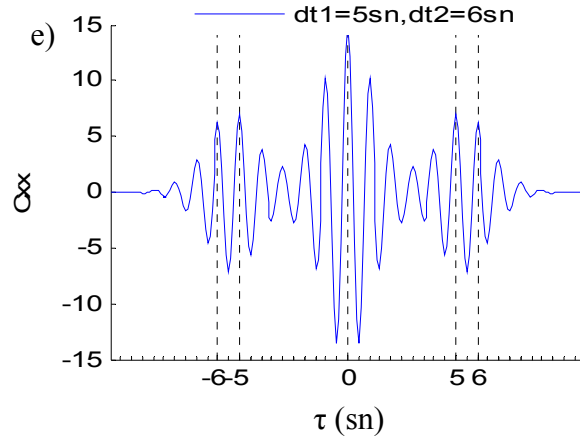
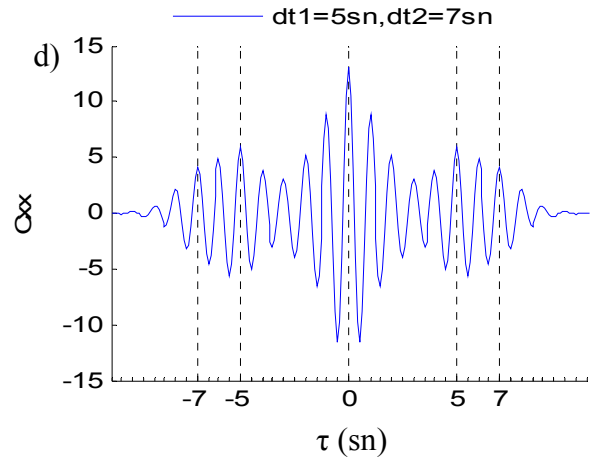
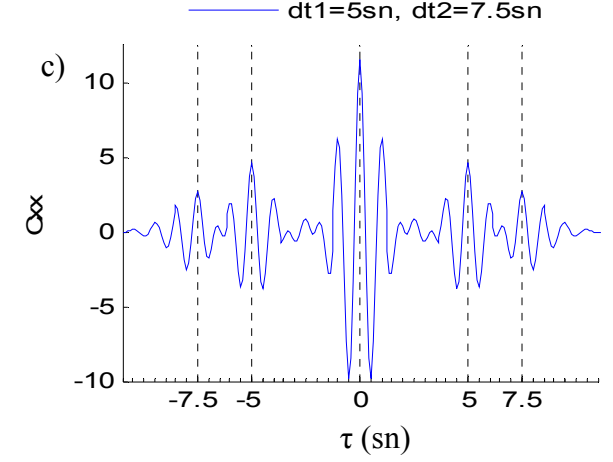
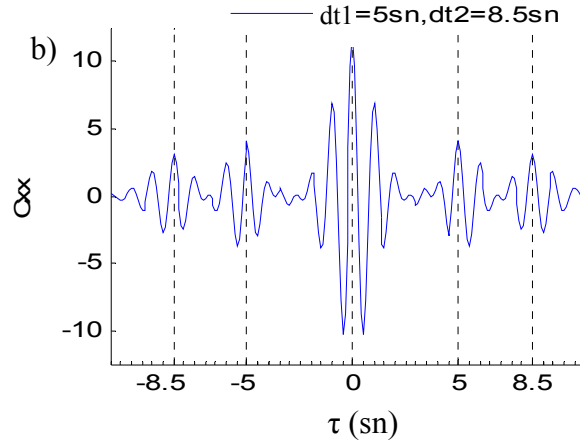
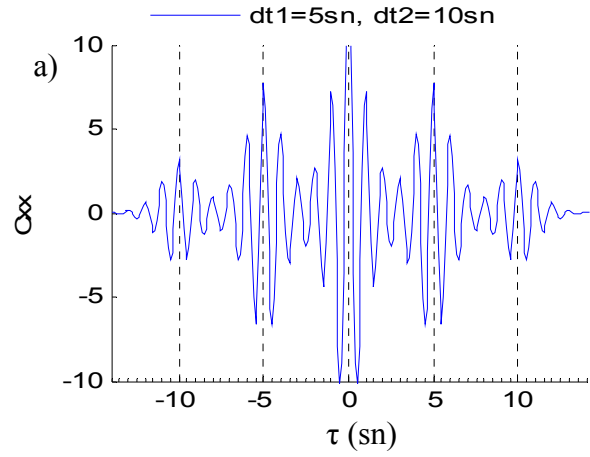
Oluşturulacak modeller üç temel kıstas üzerinden değerlendirilecektir. Bunlar farklı gecikme zamanları, değişik faz farkları ve değişik oranlarda gürültü eklenmiş verilerdir. İlk olarak kaynak ve bir yankıdan ibaret iki adet sinyalden oluşturulmuş dalga formu, değişik oranlarda girişime uğratarak, aralarındaki gecikme (dt) miktarı doğru bir biçimde bulunmaya çalışılacaktır (Şekil 24). Daha sonra değişik gecikme zamanlarına sahip üç sinyalden (kaynak ve iki yankısı) oluşmuş veriler üzerinde denemeler yapılarak yine aynı şekilde aralarındaki girişim miktarını gösteren gecikme zamanlarının ne derece doğru bir biçimde bulabileceği gösterilmeye çalışılacaktır. Bu uygulamadan sonra, sabit ve belirgin bir gecikme zamanı değeri için iki adet sinyalden oluşmuş girişmiş bir dalgacığın ikincil bileşenine (yankısına) değişik miktarlarda faz eklenerek, öz-ilişki sonucunda bu faz bilgisine tekrar ulaşılabilirlik irdelenmeye çalışılacaktır. Son olarak oluşturulan girişmiş sinyale belirli oranlarda gürültü eklenerek sonuçlar üzerine olan etkisi ölçülmeye çalışılacaktır.



Şekil 24. a) Kaynak dalgacığı, b) Yankısı ve c) Toplam sinyal



Şekil 25. Kaynak ve bir yankısından oluşan, farklı girişme zamanlarına sahip sinyaller için, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn ($dt=$ kaynak ile birinci yankısının gecikme farkı, $dt2=$ kaynak ile ikinci yankısının gecikme zamanını gösterir) öz-ilişki fonksiyonları



Şekil 26. Kaynak ve iki yankısından oluşan, farklı girişme zamanlarına sahip sinyaller için, a) $dt_1=5$ sn $dt_2=10$ sn, b) $dt_1=5$ sn $dt_2=8.5$ sn, c) $dt_1=5$ sn $dt_2=7.5$ sn, d) $dt_1=5$ sn $dt_2=7$ sn, e) $dt_1=5$ sn $dt_2=6$ sn, f) $dt_1=5$ sn $dt_2=5.5$ sn (dt_1 = kaynak ile birinci yankısının gecikme farkı, dt_2 = kaynak ile ikinci yankısının gecikme zamanını gösterir) öz-ilişki fonksiyonları

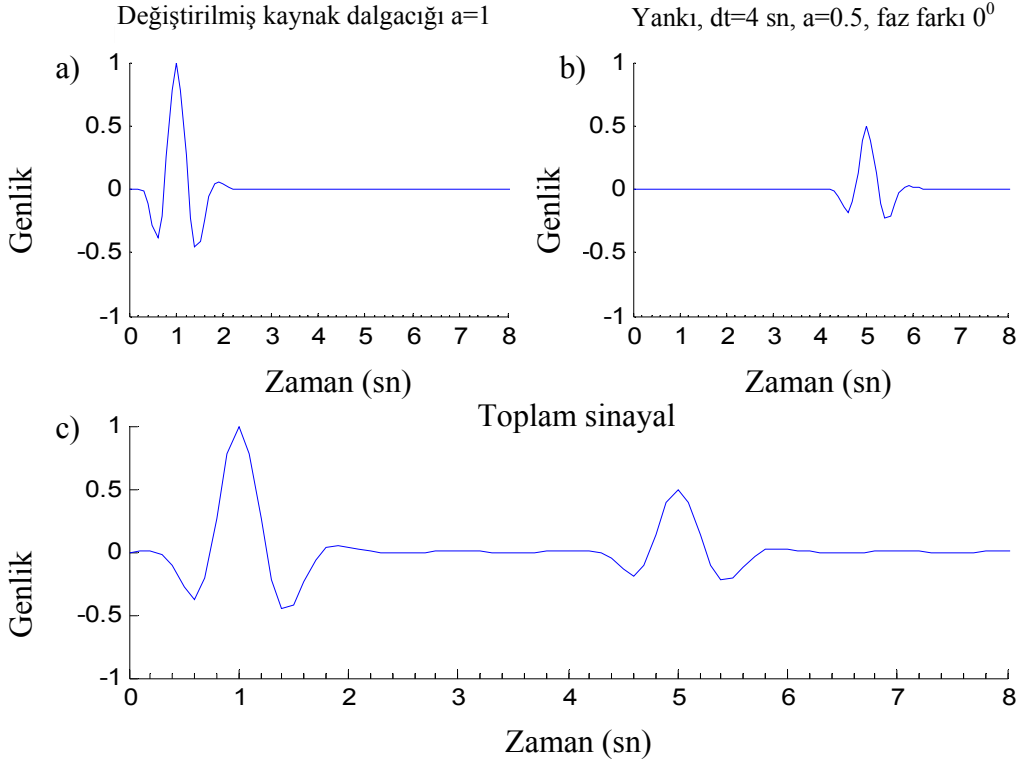
Şekil 25'te iki kaynak dalgacığı değişik gecikme zamanlarıyla toplanıp, toplam sinyalin öz-ilişki fonksiyonu çizdirilmiştir. Kaynak dalgacığı yaklaşık 5 sn süreli ve merkez frekansı 1 Hz olan bir dalgacıdır (Şekil 24 a). Temel Berlage fonksiyonu (kaynak olarak kullanılan) bu şekilde genlik ve faz bilgisi değiştirilmeden aynen kullanılmıştır. İkincil yankıyı üretmek için yine Berlage fonksiyonu kullanılmıştır. Yankı fonksiyonu, kaynak fonksiyonuna göre genlik olarak %50 oranında küçültülmüş halidir. Bu iki fonksiyon farklı gecikme zamanları için öz-ilişki fonksiyonları Şekil 25'te gösterilmektedir. Çıkan sonuçlara göre; $dt = 5$ sn, 3 sn ve 2.5 sn gecikmeli giriştirilen dalgalara ait öz-ilişki sonuçlarında ikinci bileşenin (yankının) etkisi açıkça görülmekte ve rahatlıkla temel sinyalden (kaynak) ayrımı yapılabilmektedir. $dt < 2.5$ sn den itibaren kaynak ile yankı zamansal olarak birbirine yaklaşarak ayrımı zorlaşmaya başlamaktadır. Görünüş olarak tek bir kaynak modeli görünümünü almaktadır. Buradan Berlage fonksiyonun yaklaşık 5 sn'lik bir fonksiyon olduğu hatırlanırsa şu sonuca varabilir. Bir dalganın toplam süresinin yarısına kadar toplam sinyallerde öz-ilişki yöntemi gayet iyi sonuçlar vermekte, toplam sürenin yarısından küçük olan gecikmelerde ($dt = 1.5$ sn, 1 sn, 0.5 sn) öz-ilişki fonksiyonunda zamansal farklılıkların ayrımı zorlaşmakta ve sonuçlar, tek bir dalgacığın öz-ilişki fonksiyonu halini almaktadır.

Üç adet sinyalin giriştirilmesiyle oluşturulan toplam dalga şekli içinde aynı sonuçları görmek mümkündür (Şekil 26). Bu üç girişmiş dalgadan, birinci yankının kaynakla olan gecikme değeri 5 sn sabit olarak alınmış ve genlik değeri $a = 0.8$ dir. Üçüncü bileşen yani ikinci yankı ise kaynağa göre gecikme değerleri sırasıyla $dt = 10$ sn, 8.5 sn, 7.5 sn, 7 sn, 6 sn, 5.5 sn ve genlik değeri de $a = 0.5$ olarak alınmıştır. Çıkan sonuçlara göre birinci yankı ile kaynak arasındaki $dt = 5$ sn'lik sabit gecikmeden dolayı öz-ilişki fonksiyonlarında belirgin bir şekilde gecikmeler ayırt edilebilmektedir. Üçüncü yankı için, ikinci yankı ile aralarındaki gecikme farkı yaklaşık 2.5 sn büyük olması halinde girişim etkisi gözlenmemekte ve grafik üzerinden ayırt edilmesinde bir zorluk gözlenmemiştir. Yani yine iki bileşenli dalga formuna benzer sonuca buradan da ulaşabilmektedir. Her iki yankının da ayrı ayrı toplam dalga uzunluğu (süresi) 5 sn olduğu için aralarındaki gecikme miktarı, toplam dalga süresinin yarısına kadar güvenilir bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Daha küçük dt zaman değerleri için yine dalga formları girişime uğramakta ve ayırt edilmesi güçleşmektedir.

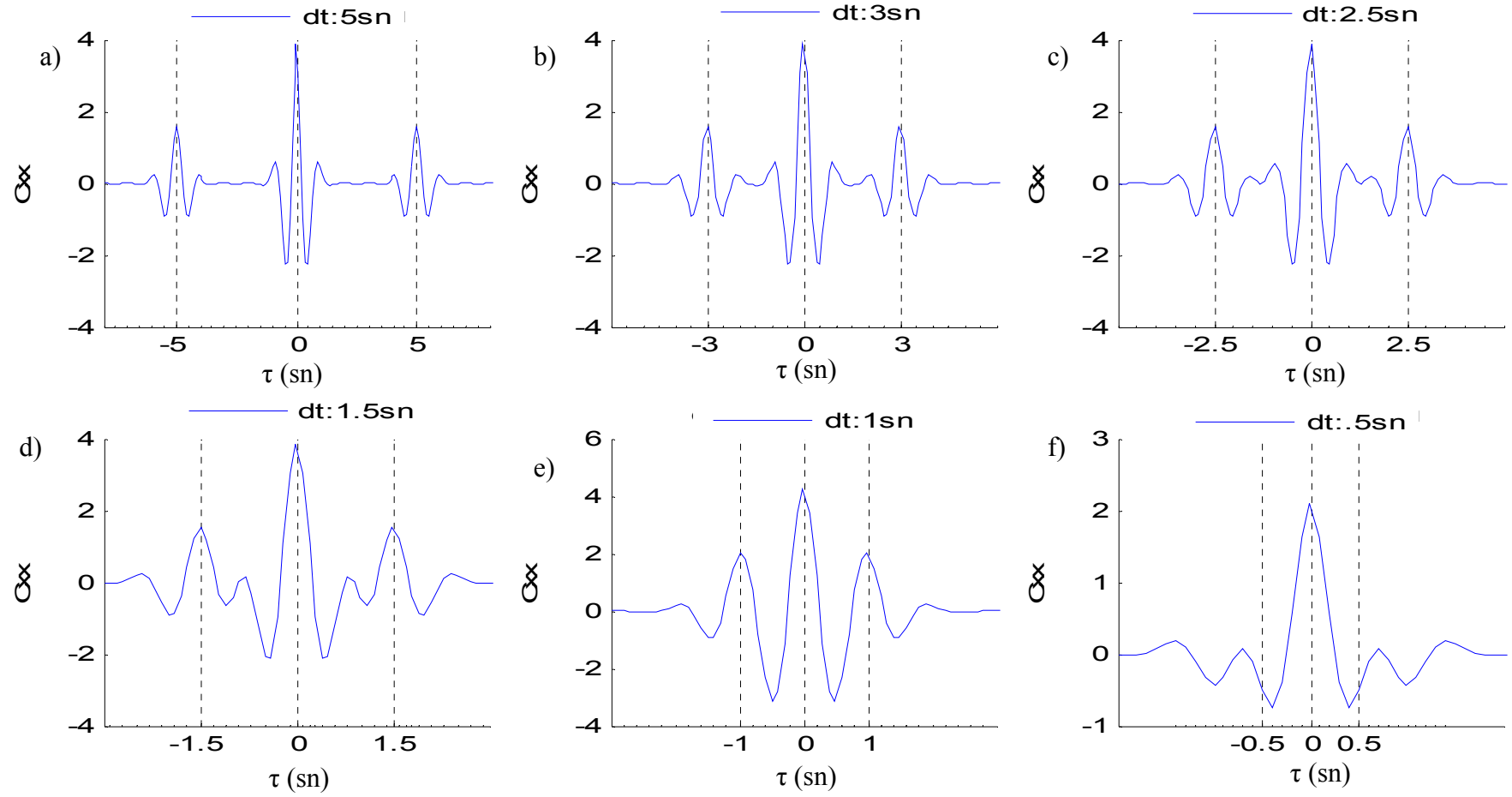
Elde edilen sonuçlar bir başka fonksiyon üzerinde denenerek tutarlılığı ölçülecektir. Bunun için yine Berlage fonksiyonundan yararlanılacaktır. Berlage fonksiyonunun

matematiksel formülasyonunda küçük değişiklikler yaparak yeni bir fonksiyon türetilmiştir. Bu fonksiyon ana özellik olarak yine Berlage fonksiyonuna benzemekte fakat sinyalin toplam uzunluğu 5 sn yerine yaklaşık 3 sn'ye düşmüştür.

Şekil 27 a,b'de bu fonksiyonun ve 4 sn gecikmeli, ana sinyale göre genliği %50 oranında küçültülmüş yankısı verilmektedir. Şekil 27 c.'de ise bu iki sinyal toplam halde gösterilmektedir. Bu fonksiyonumuza ait öz-ilişki değerleri Şekil 36.'da verilmektedir. Sonuçlar farklı gecikme zamanlarına ($dt = 5$ sn, 3 sn, 2.5 sn, 1.5 sn, 1 sn, 0.5 sn) göre hesap edilmiştir (Şekil 34). İki adet sinyalden oluşan girişmiş dalgaya ait sonuçlara göre, bu iki dalga ayırımı $dt = 1.5$ sn'lik aralarındaki gecikme farkına kadar yapılabilmektedir. $dt = 1.5$ sn'den küçük farklarda öz-ilişki grafiğinde ayırım zorlaşmakta ve olay sanki tek bir kaynağın öz-ilişki sonucuna benzemektedir. Berlage fonksiyonunu değiştirerek oluşturulan yeni fonksiyonun toplam dalga süresi yaklaşık 3 sn olduğu hatırlanacak olursa, toplam dalga boyunun yarısına kadar olan gecikmeler için, iki dalga arasındaki ayırım kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Sonuç olarak normal Berlage fonksiyonunda ortaya konan sonuçlar burada da geçerliliğini sürdürmektedir.

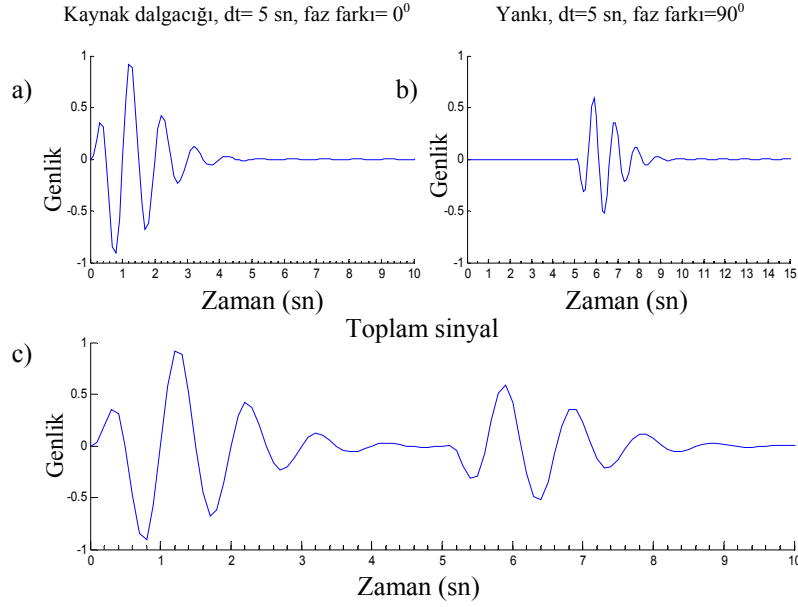


Şekil 27. a) Değiştirilmiş kaynak dalgacığı, b) Yankısı, c) Toplam sinyal



Şekil 28. Bir kaynak ve yankısından oluşan değiştirilmiş kaynak dalgacığı için farklı gecikme zamanlı, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn (dt = kaynak ile yankısı arasındaki gecikme zamanı farkı) öz-ilişki fonksiyonları

Öz-ilişki uygulamasının ikinci adımı olarak, birbirine göre değişik faz farklarına sahip girişmiş dalga şekilleri incelenmiştir. Bunun için iki sinyalin giriştirilmesiyle oluşturulan dalga formu kullanılacaktır. İlk dalga olarak (kaynak) yine Berlage fonksiyonu kullanılmıştır. Yankısı ise sabit bir gecikme ($dt = 5$ sn) değeri için değişik oranlarda (faz = 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 , 270^0) faz kaymalı ve kaynağa göre genliği %50 oranında küçültülmüş Berlage fonksiyonu kullanılmaktadır. Şekil 37’de sıfır fazlı kaynak ile aralarında 5 sn gecikme zamanı ve yankının kaynağa göre faz kayması 90^0 olan iki dalganın toplamından oluşan sinyal gösterilmektedir.



Şekil 29. a) Sıfır faz kaymalı kaynak dalgacığı, b) 90^0 faz kaymalı yankısı ve c) ikisinin giriştirilmesiyle oluşturulan toplam sinyal

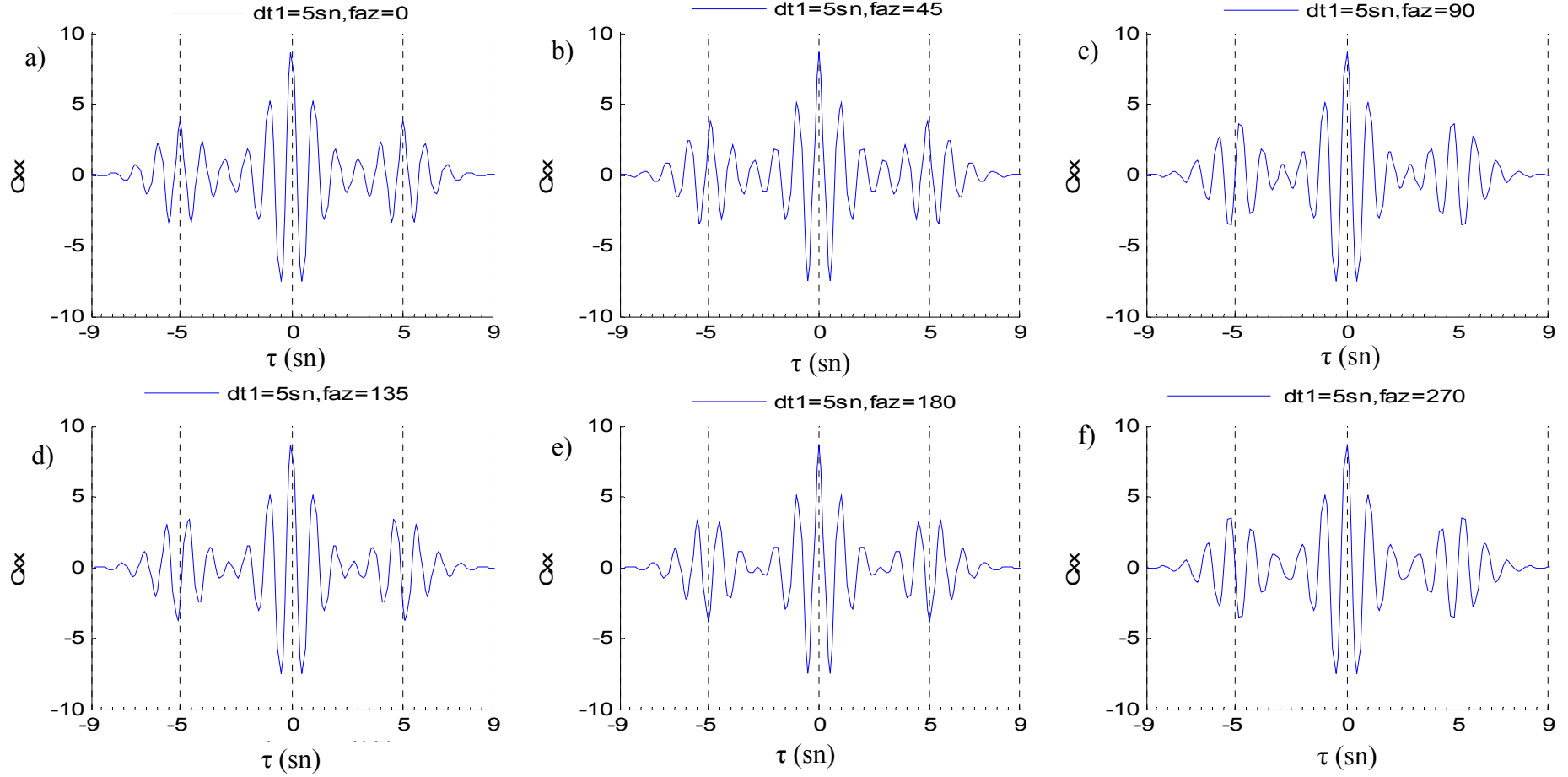
İkincil bileşenin (yankı) değişik faz kaymalarına göre öz-ilişki sonuçları Şekil 30’da gösterilmektedir. Sıfır faz kaymalı durumda kaynağın ve yankının pozitif taraftaki maksimum noktaları arasındaki zaman farkı, girişmiş dalgalar arasındaki gecikme zamanını vermektedir. Şekildeki sonuçların görsel incelenmesinden, kaynak ve yankının maksimum genlik değerlerinin pozitif tarafta ve yönlerinin aynı olması, iki dalgacık arasındaki faz farkının $0-90^0$ ya da $270-360^0$ arasında olduğu gösterdiği söylenebilir. 0^0-90^0 arasında faz farkının olması durumlarında yankının pozitif taraftaki genlik değeri küçülmekte, negatif genlik değerleri büyümeye başlamaktadır.

Aralarındaki faz farkı 90^0 ye ulaştığında pozitif genlik değeriyle bu genliği takip eden her iki dış taraftaki negatif genlik değerleri eşitlenmektedir. 90^0-180^0 arasındaki faz farkı değerleri için negatif doğrultuda maksimum oluşturmaya başlamaktadır. 90^0 ’deki bu eşitlikten

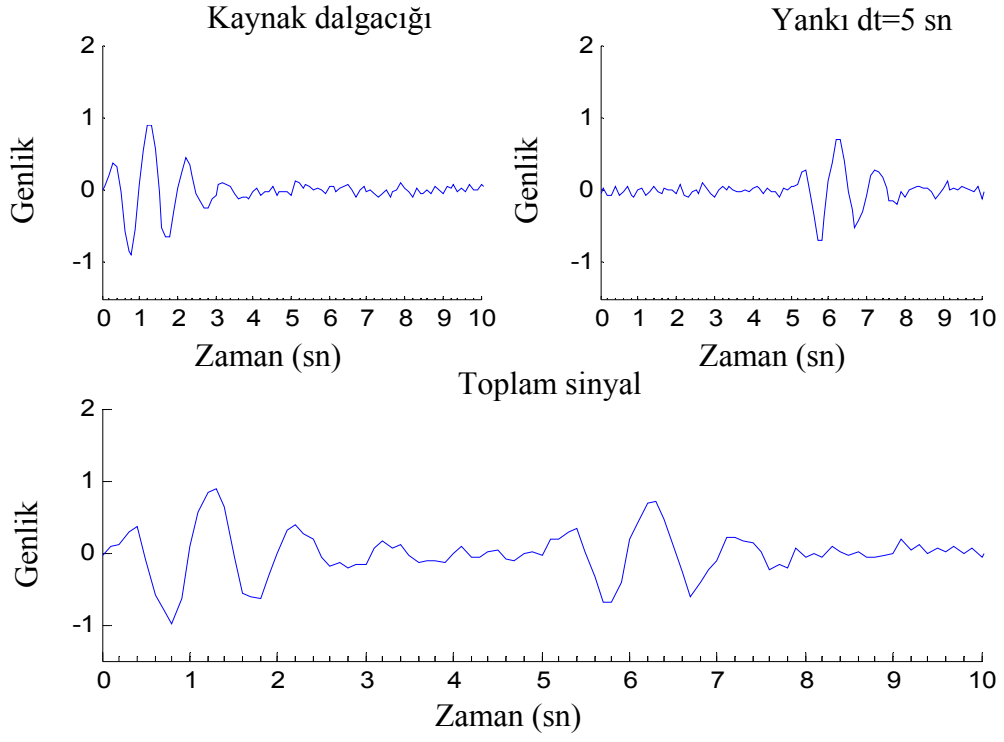
sonra 180° 'ye giderken kaynakla aynı doğrultuda olan, yankının kaynak tarafındaki genlik değeri küçülerek değerini ters taraftaki genliğe yüklemektedir. 180° 'de ters taraftaki genlik maksimum değere ulaşmakta ve kaynağın maksimum değeri ile negatif taraflı doğrultuda yönelecektir. Görünüm olarak tam ters bir şekil alacaktır. 180° - 360° arasındaki olay 0° - 180° arasında anlatılanların tam tersi bir şekilde olacaktır.

Öz-ilişki uygulamasının son adımı olarak, değişik oranlarda gürültü içeren yapay veriler üzerinde öz-ilişki fonksiyonu etkisi incelenecektir. Oluşturulan gürültü normal dağılımlı bir Gaussian gürültüsüdür. Kaynak ve bir yankıdan oluşacak iki bileşenli girişmiş dalganın tamamına eşit oranda gürültü eklenmiştir. Kaynak, genliği $a = 1$ ve faz kayması sıfır olan bir Berlage fonksiyonu, yankısı ise kaynağa göre genliği ($a = 0.7$) %30 oranında küçültülmüş Berlage fonksiyonundan oluşmaktadır. Bu iki fonksiyon sabit bir gecikme ($dt = 5$ sn) değeri için girişime uğratarak sadece farklı gürültü seviyelerinin öz-ilişki fonksiyonu üzerine olan etkileri incelenecektir. Şekil 31'de %5 gürültüye sahip toplam sinyalin oluşturulması gösterilmektedir.

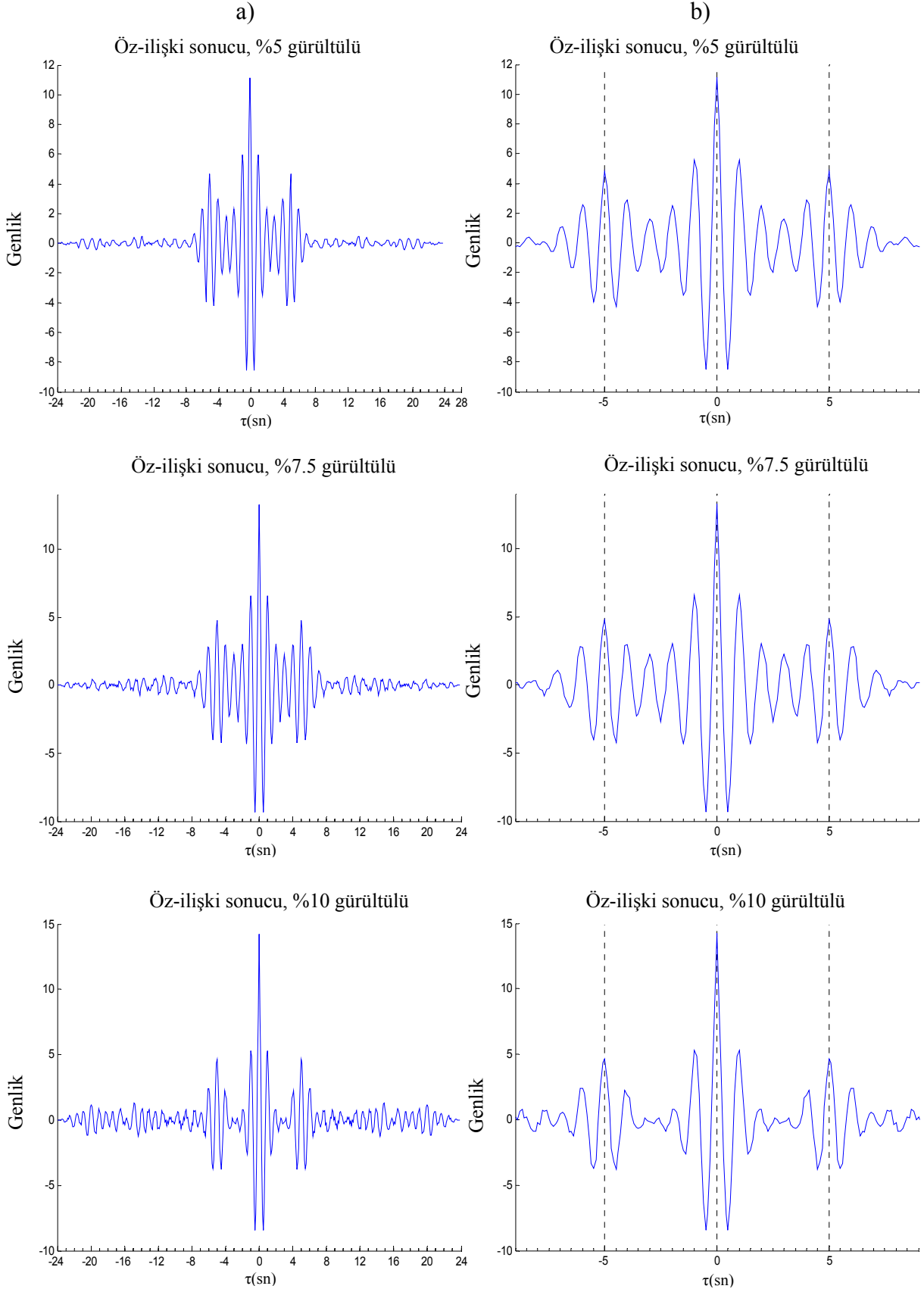
Şekil 32'de %5, %7.5 ile %10 gürültülü veriler için öz-ilişki sonuçları gösterilmiştir. Şeklin sol tarafında veri tüm veri boyu için gösterilmiş olup, $dt = 5$ sn olduğu için öz-ilişki fonksiyonunun simetri noktasından itibaren sağdan ve soldan $dt = 5$ sn daha açık bir şekilde görebilmek için genişletilmiştir. %5 gürültülü bir veri için, yankının şekline bakıldığında küçük bir faz farkı etkisinin var olduğu söylenebilir ve kaynağa göre ters genlik iç tarafta büyüme gösterdiği için 270° - 360° arasında bir faz farkının varlığından söz edilebilir. Ancak pozitif genlik $dt = 5$ sn'de pik verdiği ve hiçbir faz kaymasına sebep olmadığından, bu küçük farklılığın sadece gürültünün etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu küçük farklılık sadece gürültünün etkisinden ibarettir. Bu tür bir etki %7.5'lik gürültü değerinde de görülebilir. Fakat %10'luk gürültü değeri için öz-ilişki fonksiyonunda böyle bir durum gözlenmektedir. Gürültü oranı arttıkça çıkan öz-ilişki sonuçlarında da küçük dalgalanmalar artmaktadır. Şekil 33'te %15, %20, %25 gürültü değerleri için öz-ilişki sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi gürültü oranı arttıkça simetriklik gösteren dalga formlarının gözlenmesi zorlaşmakta ve araya gürültünün etkisinin neden olduğu yalancı genlikler girmektedir. %15 ve %20 gürültü oranı için biraz zorda olsa (özellikle %20 için) $dt = 5$ sn'lik fark ayrılabilenkte, fakat %20 gürültü oranından yüksek değerler için hiçbir ayırım yapılamamakta ve tamamen gürültünün etkisiyle yankının genlik değerleri bastırılmaktadır.



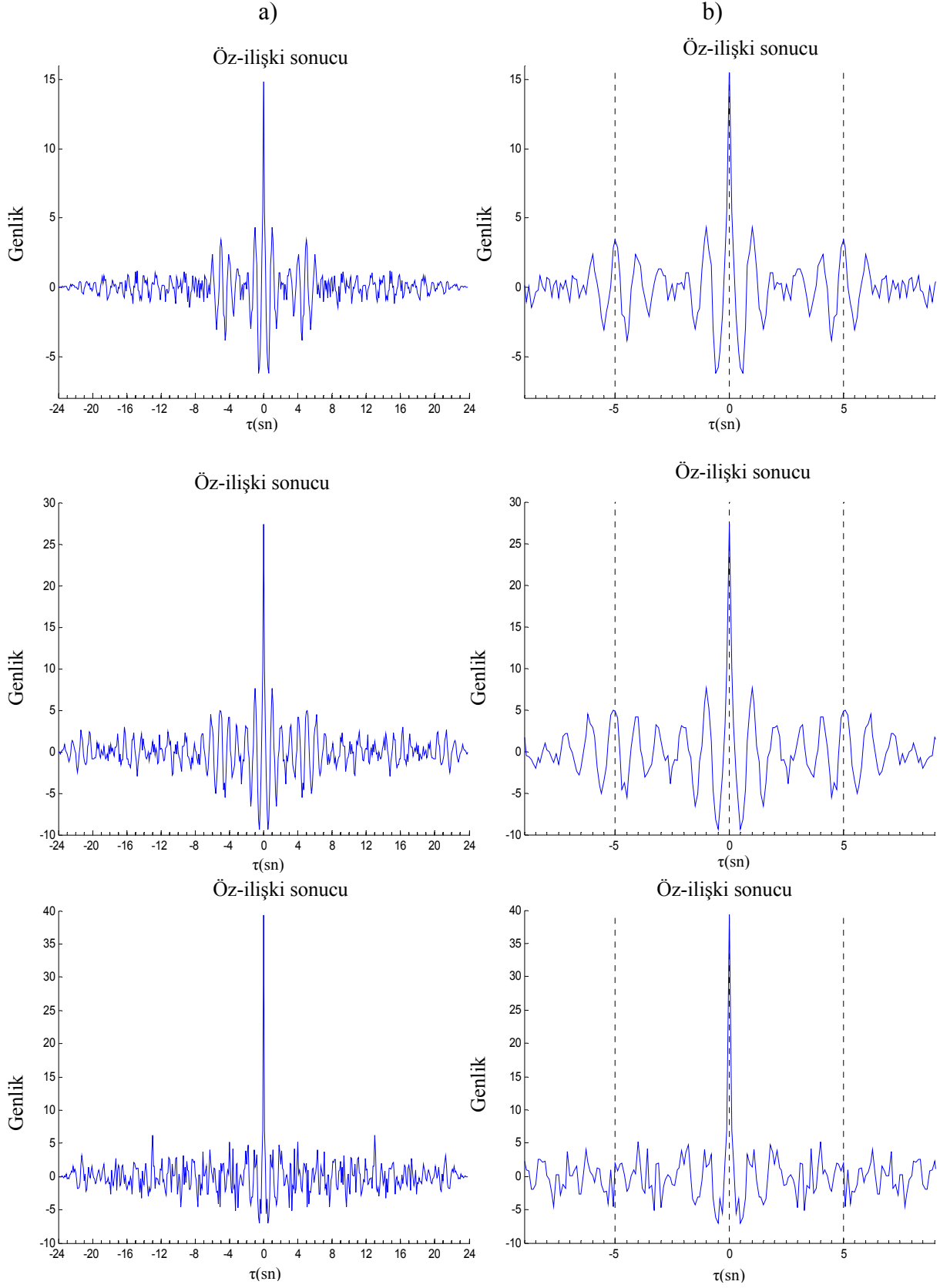
Şekil 30. 5 sn gecikmeli kaynak ve değişik oranlarda faz bileşeni içeren yankısından oluşan toplam dalgacığa, a) $dt=5$ sn, faz = 0, b) $dt=5$ sn, faz = 45, c) $dt=5$ sn, faz = 90, d) $dt=5$ sn, faz = 135, e) $dt=5$ sn, faz = 180, f) $dt=5$ sn, faz = 270 ait öz-ilişki fonksiyonları



Şekil 31. a) %5 gürültülü eklenmiş kaynak dalgacığı, b) % 5 gürültü eklenmiş yankısı c) bu iki dalgacığın girişiminden oluşan toplam sinyal



Şekil 32. Aralarında 5 sn gecikme olan bir kaynak ve yankısından oluşan değişik gürültü oranlarına sahip toplam dalga sinyalleri için öz ilişki sonuçları, a) tüm veri boyu için, b) genişletilmiş gösterim



Şekil 33. Aralarında 5 sn gecikme olan bir kaynak ve yankısından oluşan değişik gürültü oranlı toplam sinyalleri için öz ilişki sonuçları a) geniş zaman ölçeğinde gösterim b) kısa zaman ölçeğinde gösterim

2.1.2. Spektral Sıfırlar (Nulls) Yöntemi Uygulamaları

Bu yöntem spektrum ortamında girişmiş iki dalgacığın ayrılmasında kullanılır. Yöntem iki ve ikiden fazla olan yankılı sinyallerin ayırt edilmesi için uygulanamamaktadır. Zaman ortamında girişmiş iki sinyalden oluşan toplam sinyalin Fourier dönüşümünü (1.7) yeniden yazarsak,

$$X(W) = Y(W) + a \int_{-\infty}^{\infty} y(t - dt).e^{-iwdt} dt \quad (1.7)$$

elde edilir.

Yukarıdaki formülün sağ tarafındaki ikinci terim yankıya ait bileşendir. Yankıya ait bu bileşen, kaynak $Y(W)$ bileşeni üzerinde modülasyona uğramakta ve belirli bir sistematik kaynağın genlik değerleri üzerinde tekrarlı maksimum ve minimumlar oluşturmaktadır. Bu sistematik, bir grafik yardımıyla doğrusal bir fonksiyon halinde gösterilebilir (Şekil 17). Çıkan doğrusal grafiğin eğiminin tersi iki dalga arasındaki gecikme zamanını vermektedir. Doğrusal grafik oluşturulurken, genlik spektrumu üzerinden okunan maksimum ya da minimum frekans değerleri, maksimum ya da minimum sayılarının fonksiyonu olarak işaretlenir. İşaretlenen bu noktalardan en uygun doğru en küçük kareler yöntemine göre geçirilerek aralarındaki ilişki doğrusal hale dönüştürülmüş olur. Daha sonra bu doğrusal grafiğin eğiminin tersi alınarak gecikme değeri elde edilir.

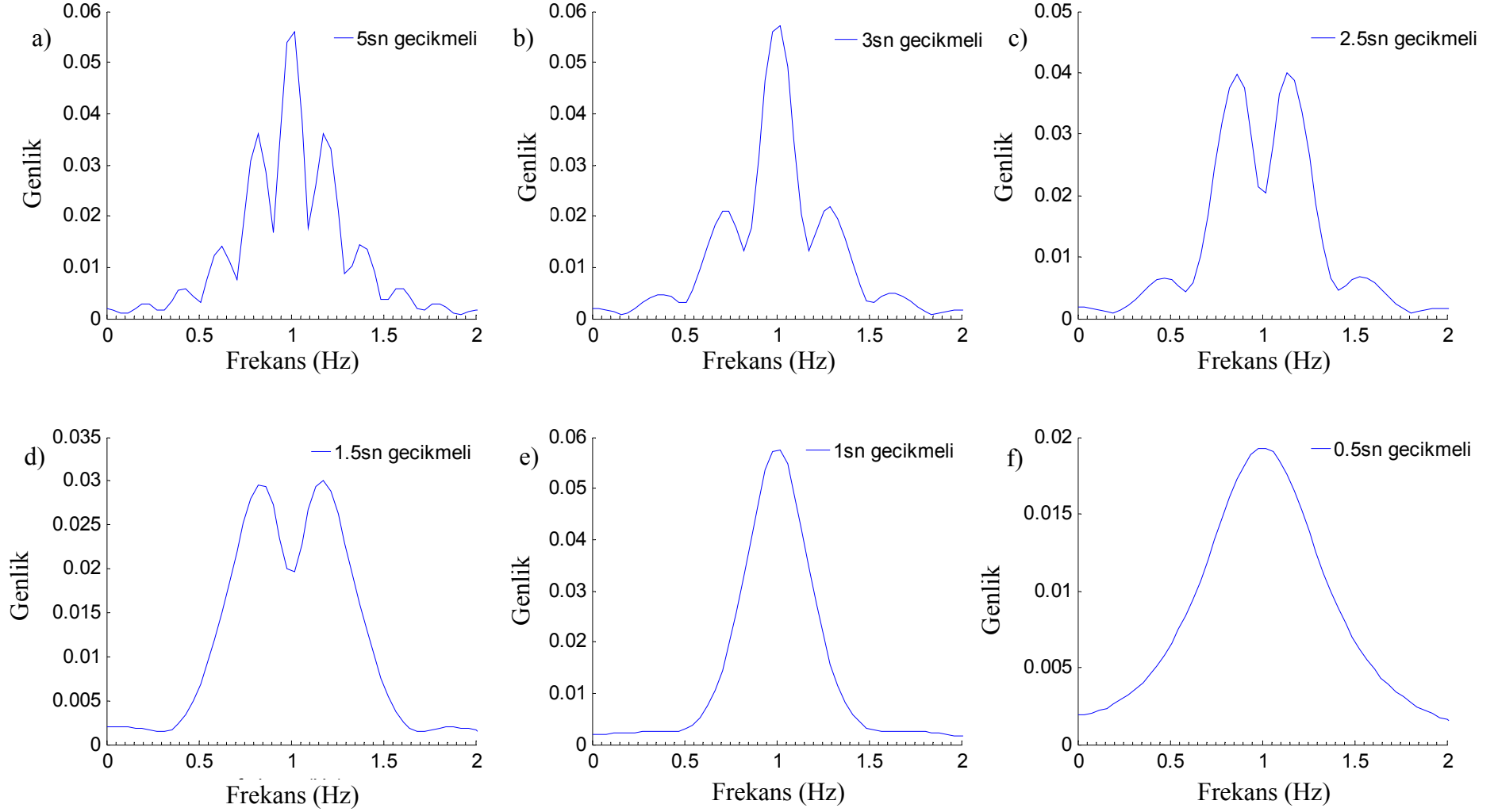
Genlik spektrumu üzerinde ne kadar çok maksimum ya da minimum frekans değeri okunabiliyorsa elde edilen sonucun güvenilirliği de o derece arttırılmış olur. İleride görüleceği gibi bazen genlik spektrumunda sadece kaynağın etkisi gözükmemekte, yankının modülasyona uğratma etkisi kaynağın genliğinde sönümlenmeye uğrayabilmektedir. Bu durumda tek bir nokta için doğrusallık elde edilemeyeceği için bir çözüm de üretilemeyecektir.

Şekil 24'te bir kaynak ve bir yankısından oluşan toplam sinyalin oluşturulması görülmektedir. Kaynak sinyali; merkez frekansı 1 Hz ve genliği 1 birim olan ve faz farkı olmayan bir Berlage fonksiyonudur. Yankısı ise kaynaktan farklı olarak sadece genliği %50 oranında küçültülmüş bir Berlage fonksiyonudur. Bu iki fonksiyonun girişiminden oluşan toplam dalga modeli spektral sıfırlar yönteminde kullanılmak üzere değişik gecikme

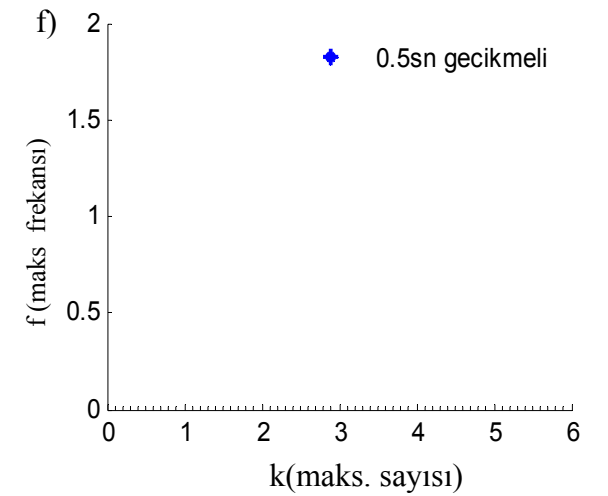
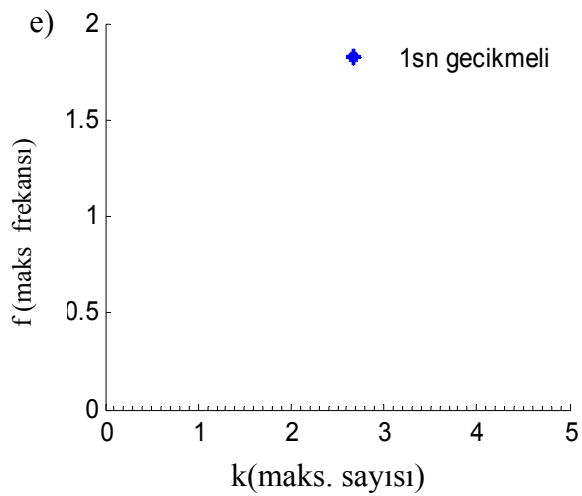
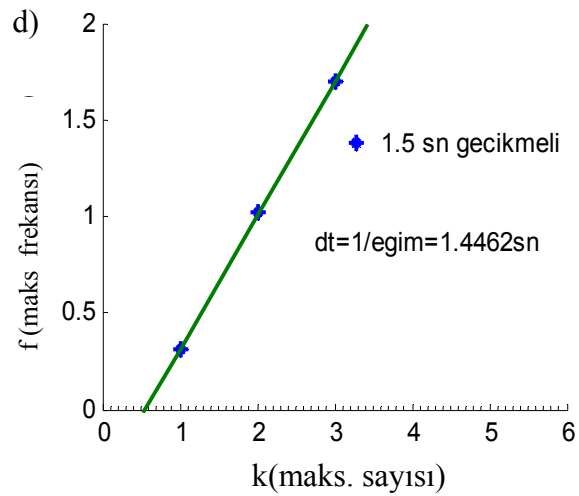
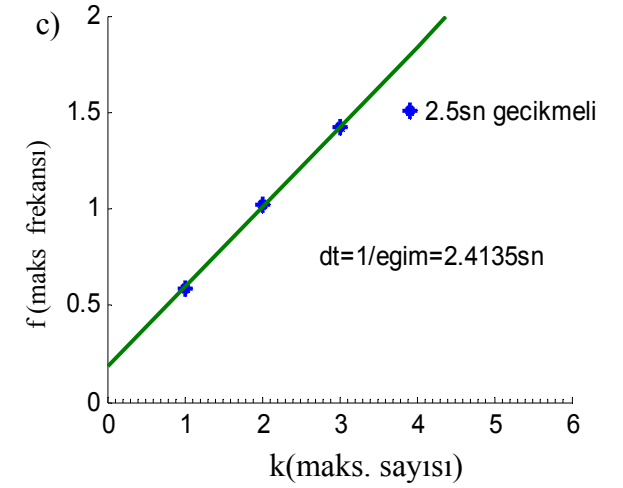
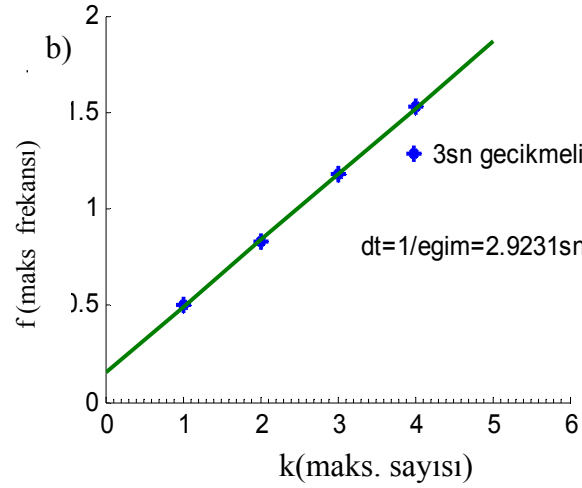
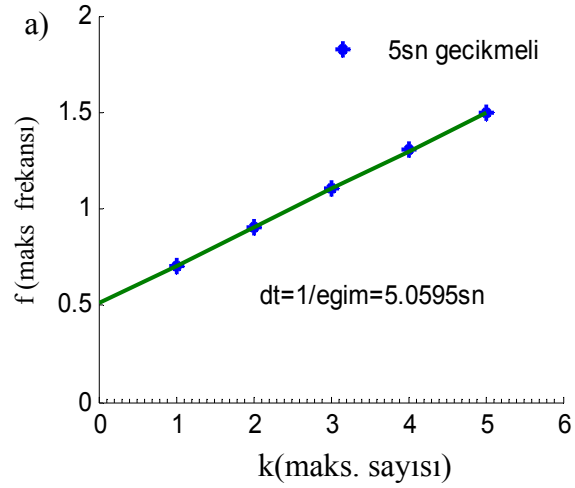
zamanlarına ($dt = 5 \text{ sn}, 3.5 \text{ sn}, 2.5 \text{ sn}, 1.5 \text{ sn}, 1 \text{ sn}, 0.5 \text{ sn}$) sahip toplam dalga sinyallerinin her birisi için genlik spektrumları hesaplanmıştır.

Şekil 34'deki grafiklere bakıldığında $dt = 5 \text{ sn}$ ve 3 sn için genlik spektrumlarında yankının modülasyona uğraması açıkça gözlenmektedir. Kaynağın merkez frekansı 1 Hz olduğu için, frekans ortamında yankıya ilişkin genlikler kaynağın bu frekansı etrafında dalgalanmaya, yani belirli bir periyodik düzenle tekrarlanarak modülasyona uğramaktadır. $dt = 2.5 \text{ sn}$ 'de iki dalgacık için kritik bir girişim durumu vardır. Berlage fonksiyonu ortalama 5 sn 'lik bir fonksiyon olduğu hatırlanırsa, 2.5 sn 'lik bir gecikmede genlik spektrumu üzerinde $f = 1 \text{ Hz}$ 'de ani bir genlik azalımı ve tekrar yükselimine neden olmaktadır. İki dalga arasındaki gecikme zamanı azaldıkça yankının modülasyon etkisi yok olmakta ve sadece kaynağın genlik spektrumu gözükmemektedir. Sadece kaynağın etkisinin gözlenebildiği $dt = 1 \text{ sn}$ 'den daha düşük gecikme değerleri için spektral sıfırlar yöntemi çözüm bulamamakta, frekans ortamında yankının yeterli ayırımı yapılamamakta ve sonuçta birkaç tane maksimum ya da minimum frekans değerine olan ihtiyaçtan dolayı çözüm yapılamamaktadır. Yankı etkisinin ayırt edilebildiği genlik spektrumu sonuçları üzerinden alınan spektral sıfırlar grafiklerine bakıldığında; verilen gecikme değerleriyle bulunan gecikme değerleri arasında çok az bir fark bulunduğu görülmektedir(Şekil 35).

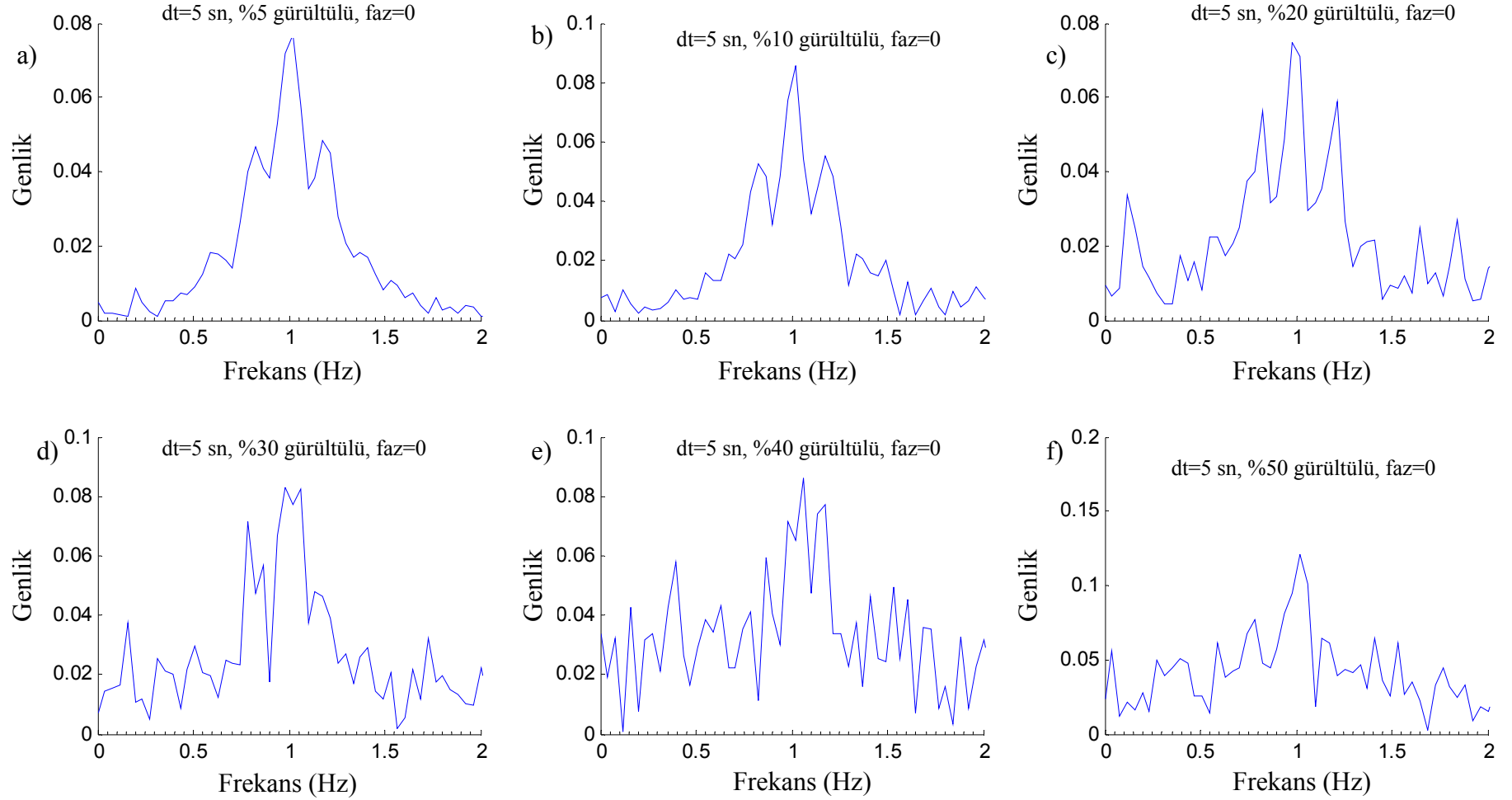
Spektral sıfırlar yönteminde toplam sinyale farklı oranlarda gürültü ekleyerek, gürültünün etkisi ölçülmeye çalışılmıştır. Toplam sinyale değişik oranlarda (%5, 10, 20, 30, 40 ve %50) gürültü eklenerek, gürültülü veri üzerinde Fourier dönüşümleri alınmış ve buradan genlik spektrumları hesap edilmiştir(Şekil 36). Hesaplanan genlik spektrumu grafikleri üzerinden maksimum ya da minimum frekanslar bulunmaya çalışılmıştır. Çıkan sonuçlardan da görüldüğü gibi, gürültü oranı arttıkça genlik spektrumunda da yan salınımlar ya da yalancı genlikler büyümekte ve belirli bir seviyeden sonra dalgacığın maksimum veya minimum genlikleri kestirilememekte ve tamamen gürültünün de etkisiyle bastırılmaktadır. Çıkan sonuçlara göre %50 ve daha fazla gürültü oranı için kaynağın etkisini tamamen kaybettiği söylenebilir. Bu şekildeki bir gürültü oranına kadar yine hatalı sonuçların çıkabileceği göz ardı edilmemelidir. Çıkan spektral sıfırlar sonuçlarına bakacak olursak %20 gürültü oranından itibaren bulunan sonuç ile ilk sonuç arasında fark kabul edilemeyecek derecede olmaktadır. % 20 gürültü oranı için bulunan gecikme zamanı 4.2524 sn 'dir ve bulunmaya çalışılan sonuç ise 5 sn 'dir (Şekil 37). Bu fark belki daha hassas çalışmalar için kabul edilemeyebilir ama kaba bir yaklaşım için kullanılabilir



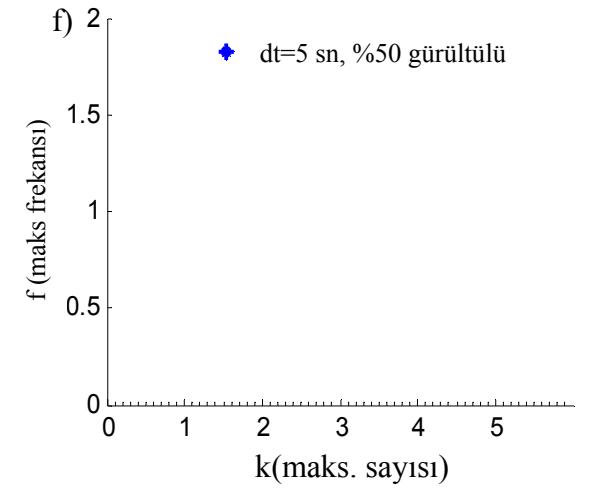
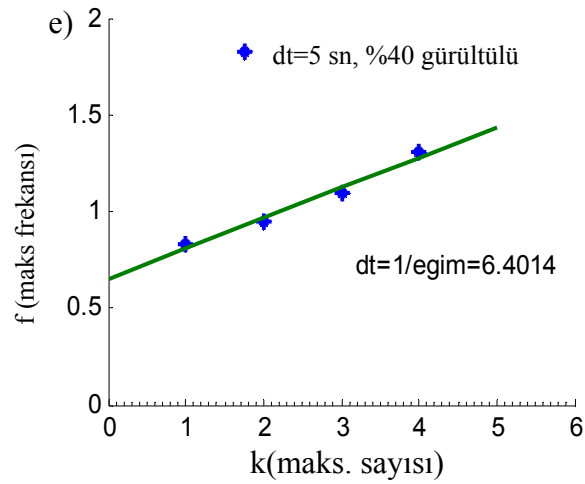
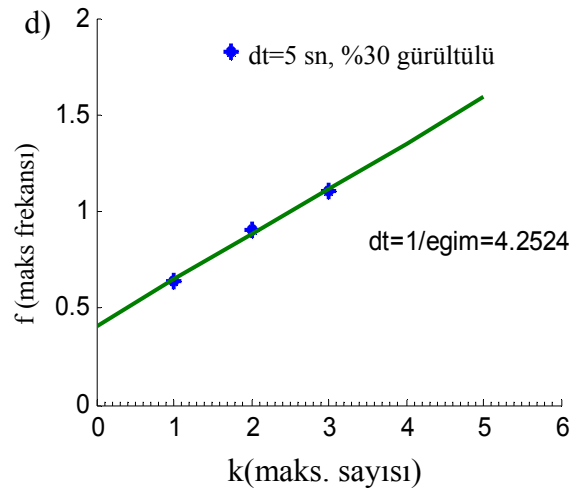
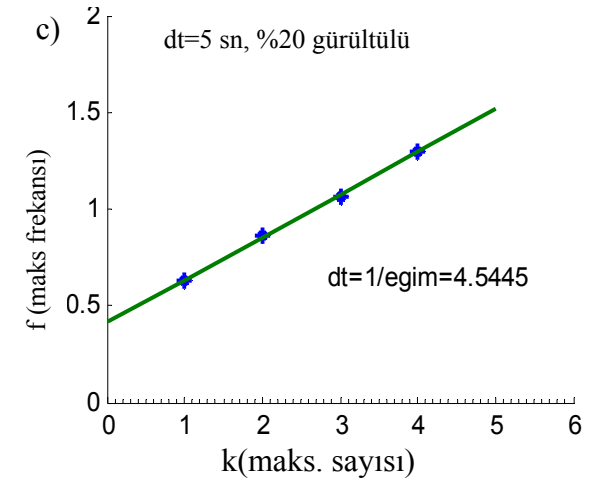
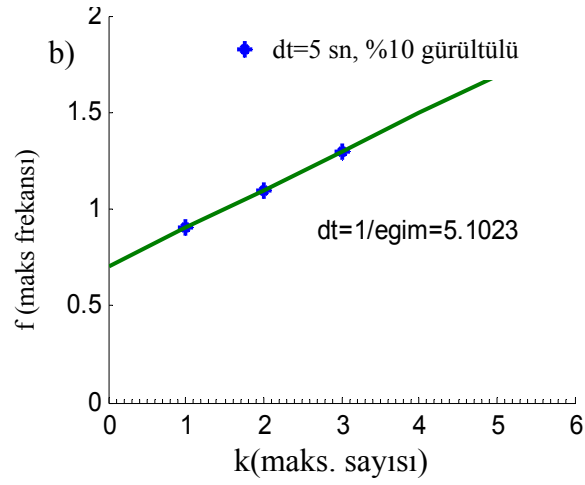
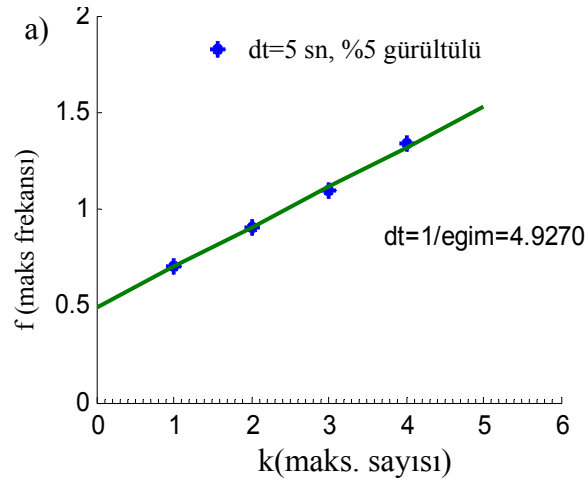
Şekil 34. Farklı gecikme değerlerine sahip kaynak ve bir yankısından oluşan toplam sinyal için genlik spektrumu değerleri, a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn gecikme zamanları için.



Şekil 35. Şekil 34'deki genlik spektrumlarından yararlanarak değişik gecikme değerleri için hesaplanan spektral sıfırlar ve kestirilen değerleri
a) $dt=5$ sn, b) $dt=3$ sn, c) $dt=2.5$ sn, d) $dt=1.5$ sn, e) $dt=1$ sn, f) $dt=0.5$ sn gecikme zamanları için



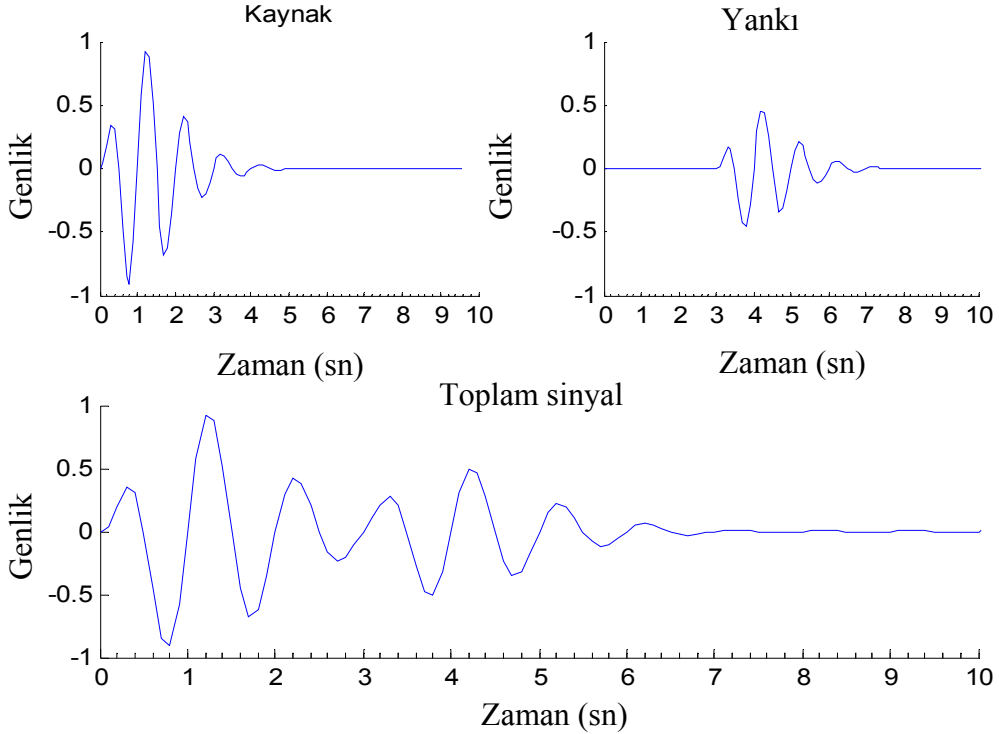
Şekil 36. Değişik gürültü oranlarına sahip aralarındaki gecikme zamanı 5 sn olan bir kaynak ve bir yankısından oluşan toplam dalgalar için genlik spektrumları, a) dt=5 sn %5 gürültülü, b) dt=5 sn %10 gürültülü, c) dt=5 sn %20 gürültülü, d) dt=5 sn %30 gürültülü, e) dt=5 sn %40 gürültülü, f) dt=5 sn %50 gürültülü,



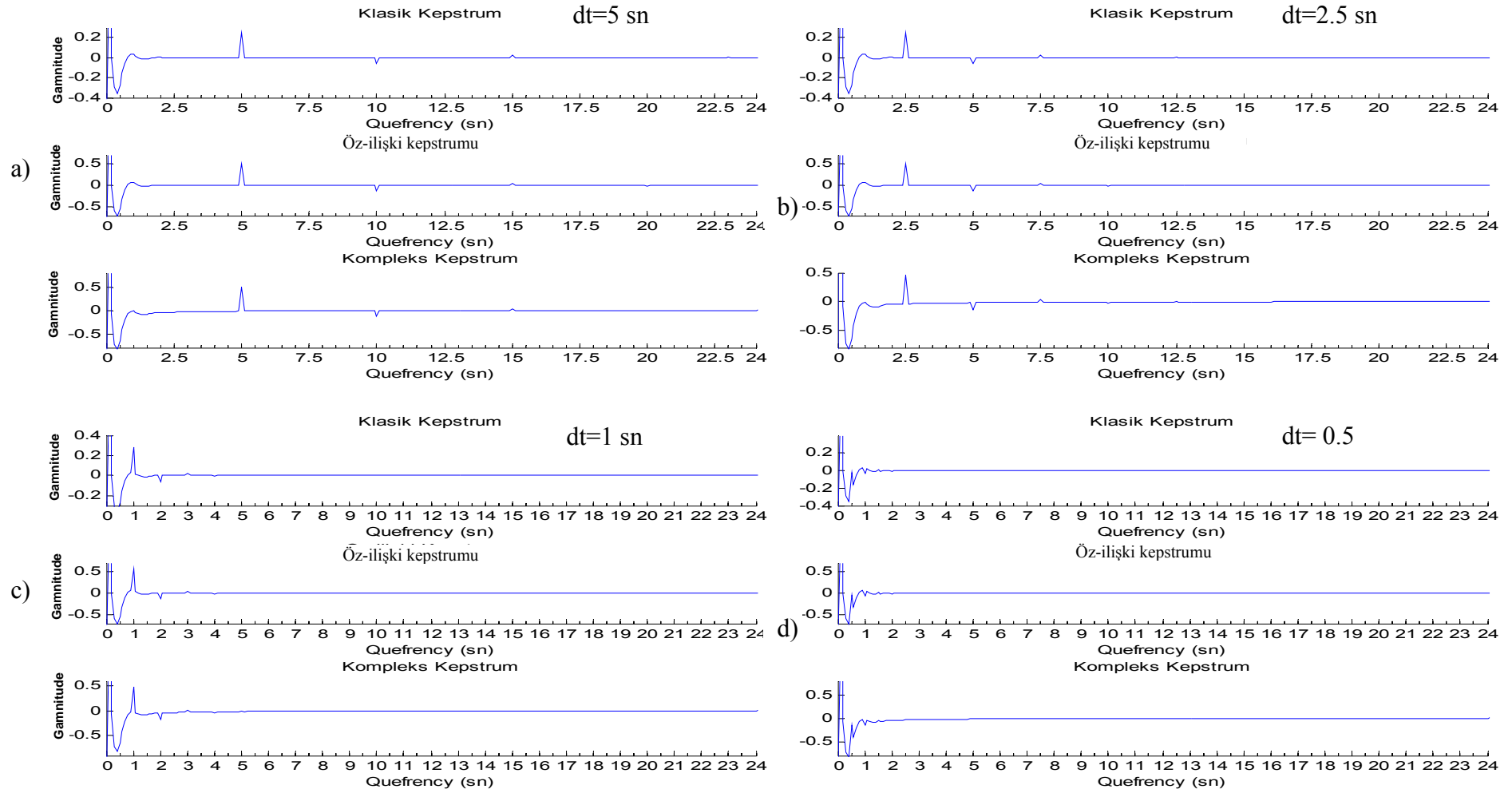
Şekil 37. Şekil 36'daki genlik spektrumlarından yararlanarak sabit gecikme değerleri ($dt=5sn$) ve farklı gürültü içerikleri için hesaplanan spektral sınırlar ve kestirilen gecikme zamanı değerleri, a) %5 gürültülü, b) %10 gürültülü, c) %20 gürültülü, d) %30 gürültülü, e) %40 gürültülü, f) %50 gürültülü

2.1.3. Kepstrum Yöntemi Uygulamaları

Kepstrum yöntemi çalışmada kullanılacak olan son yöntemdir. Fourier dönüşümü alınan sinyallerin, frekans ortamında logaritmalarının alınmasıyla birbirlerine benzer olayların düzgün bir dağılımının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Genel Bilgiler kısmında matematiksel olarak açıklanan yöntem, yapay olarak üretilecek veriler üzerinde uygulanarak, yöntemle ilgili doğrulukları sınanacaktır. Diğer iki yöntemle nazaran kepstrum yöntemi üzerinde daha detaylı durulacaktır. Kepstrum genel olarak 3 farklı yoldan hesaplanmaktadır (Klasik, Kompleks, Öz-ilişki kepstrumu). Üç farklı kepstrum için bulunan sonuçlar kendi aralarında kıyaslanacaktır. İlk olarak iki adet sinyalden oluşan giriştirilmiş bir Berlage fonksiyonundan oluşan toplam sinyali ele alalım. En basit şekilde iki adet sinyali oluşturmak için, kaynak; genliği 1, merkez frekansı 1 Hz olan faz ve gürültü bileşeni içermeyen, yankı ise kaynaktan farklı olarak sadece genliği $a = 0.5$ diğer özellikleri kaynakla aynı olan bir dalgacık kullanılacaktır. Şekil 45'te 3 sn'lik gecikme farkıyla yalın sinyal ve bir yankısından oluşan toplam sinyal verilmiştir.



Şekil 38. Kaynak ve 3 sn gecikmeli yankısından oluşan toplam sinyal

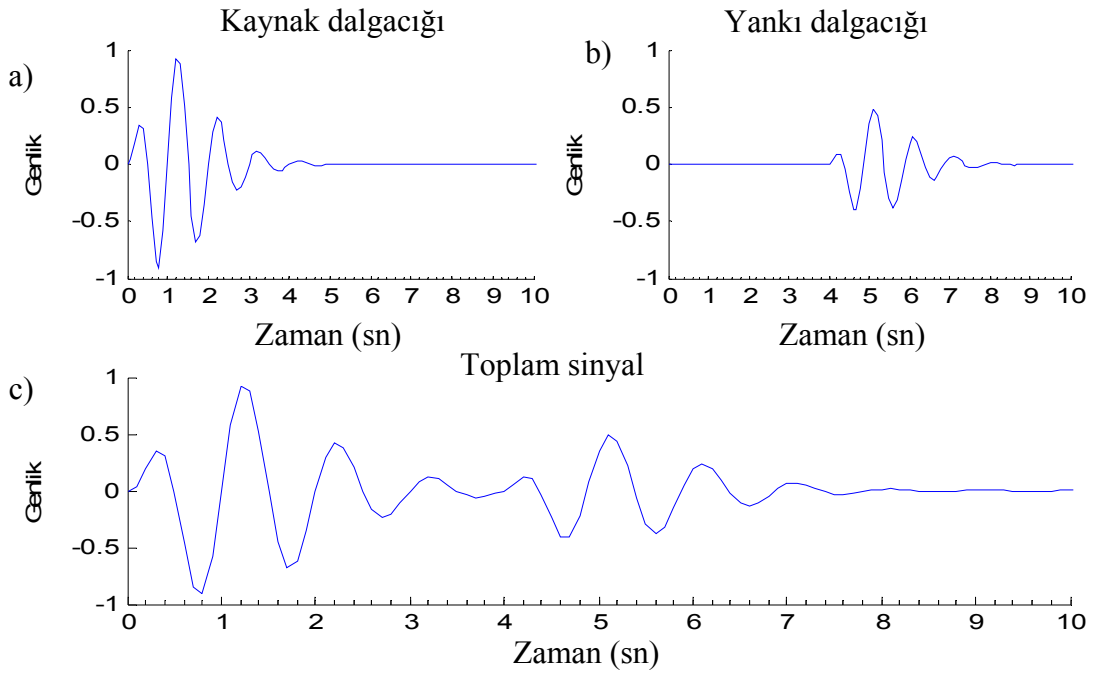


Şekil 39. Farklı gecikme zamanlarına sahip kaynak ve yankısından oluşan toplam sinyalin kepstrum sonuçları, a) $dt= 5$ sn, b) $dt= 2.5$ sn, c) $dt= 1$ sn, d) $dt= 0.5$ sn gecikme zamanları için

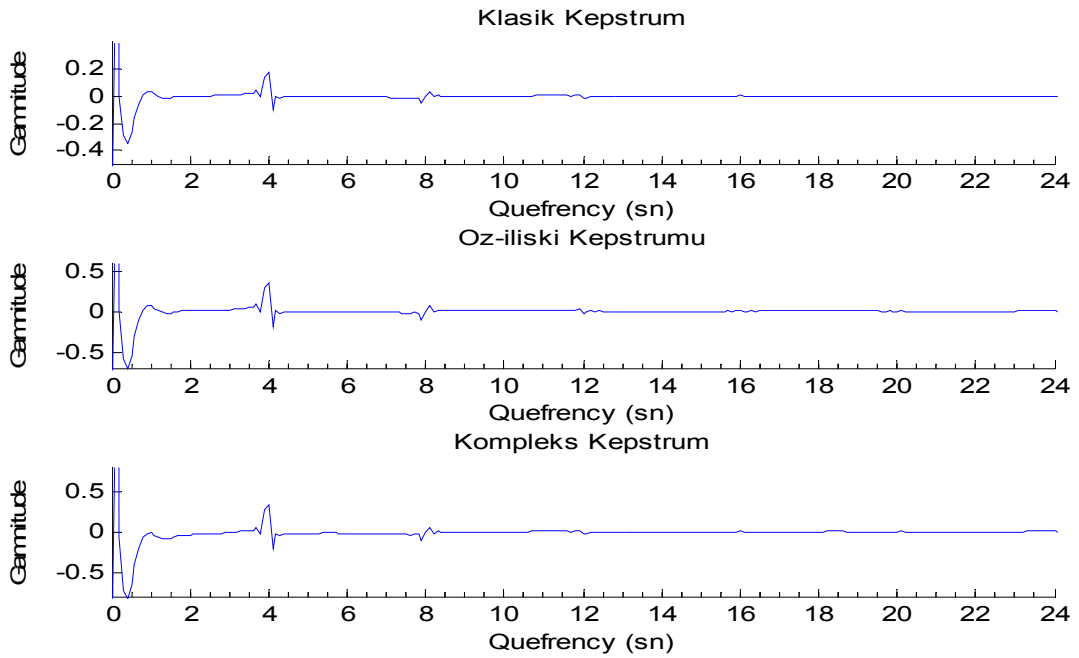
Şekil 39’da yalın sinyal (kaynak) ve tek bir yankıdan oluşan farklı gecikme zamanlarına sahip toplam sinyaller için kepstrum sonuçları gösterilmiştir. İki sinyal arasındaki gecikme zamanı 5 sn’den başlayarak 0.5 sn’ye kadar azalan değerler alınmış ve bu şekilde ayırt edilebilir minimum gecikme zamanı bulunmaya çalışılmıştır. İki dalgacık arasındaki gecikme zamanları maksimum 5 sn ile minimum 0.5 sn arasındadır. İlk olarak 5 sn’lik gecikme zamanı için 3 farklı yoldan kepstrum sonuçları elde edilmiştir (Şekil 39 a). Sonuçlara bakıldığında gecikme zamanı 5 sn’de ve katlarında yankıya ait periyodik pikler açık olarak gözükmemektedir. İlk 5 sn’lik pik, diğer tekrarlanan piklere göre daha belirgindir. Tekrarlı pikler kaynağa göre sırasıyla pozitif ve negatif genlik değerleri göstermektedir çünkü kepstrum işleminde logaritmadan dolayı tekrarlanan piklerde zamana göre üstel olarak bir azalma görülmektedir. Her üç farklı yoldan hesaplanan kepstrum sonuçları da yaklaşık aynı sonuçları vermektedir. Daha sonra iki dalgacık arasındaki gecikme sırasıyla $dt = 2.5$ sn, 1 sn ve 0.5 sn değerleri için minimum ayırt edilebilecek gecikme zamanı değeri kestirilmeye çalışılmıştır (Şekil 39 b,c,d). Bu 4 farklı gecikme değeri için ayırt edilebilir en küçük gecikme zamanı 1 sn’lik olan toplam sinyalin kepstrumu alınabilir. Bu gecikme zamanından daha küçük gecikme değerleri için hesaplanan kepstrum sonuçlarında, kaynak ile yankının vereceği pik üst üste binerek ayırt edilemez bir hale gelebilmektedir. Fakat $dt=0.5$ sn gecikmeli sinyalin kepstrumları dikkatle incelenirse 0.5 sn gecikme zamanları zorda olsa belirlenebileceği görülmektedir.

2.1.3.1. Yalın Sinyal Ve Yankısı Arasındaki Farklı Faz Farkları İçin Kepstral Analiz

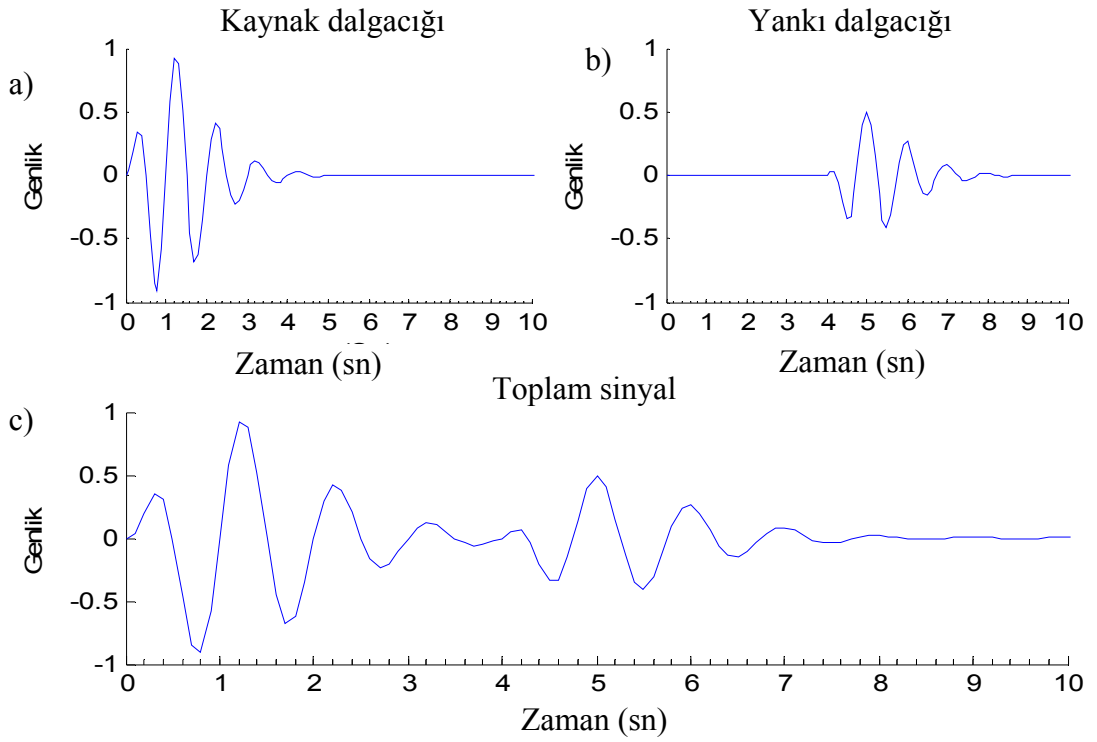
Bu kısımda bir kaynak ve yankısından ibaret iki adet sinyalin toplamından oluşacak sinyaller arasında, bir farkın bulunması durumunda kepstrum sonuçları irdelenmiştir. Kaynak ve yankı için kullanılacak olan Berlage fonksiyonunun, kaynak fonksiyonu sabit tutularak yankının kaynağa göre çeşitli faz farkları için kepstrumları hesap edilmiştir Yankı fonksiyonuna uygulanacak fazlar kaynağa göre 0^0 ’den 360^0 ’ye kadar 45^0 ’lik artımlarla yapılmıştır.



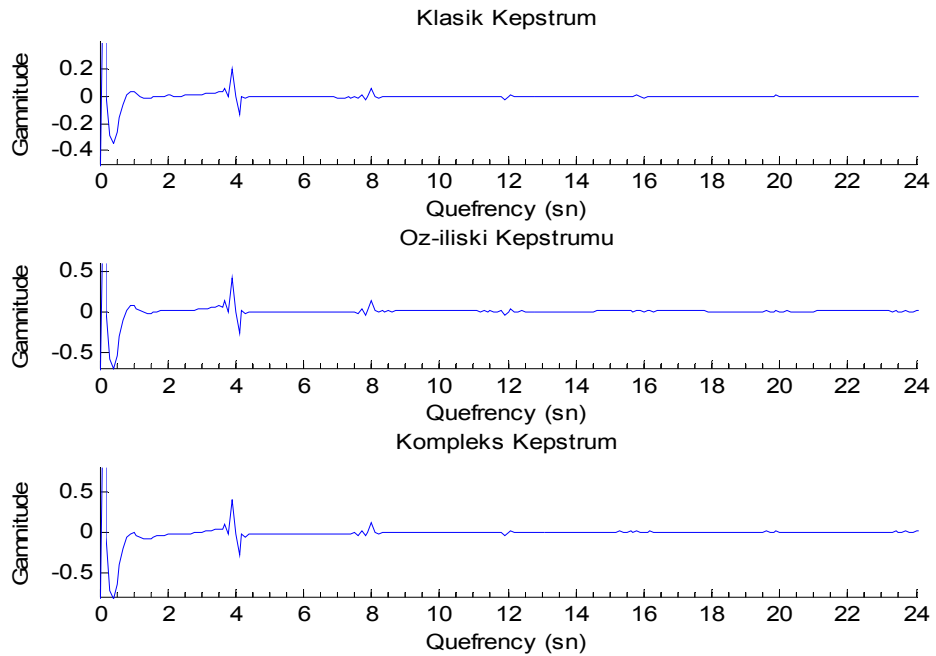
Şekil 40. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 45^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



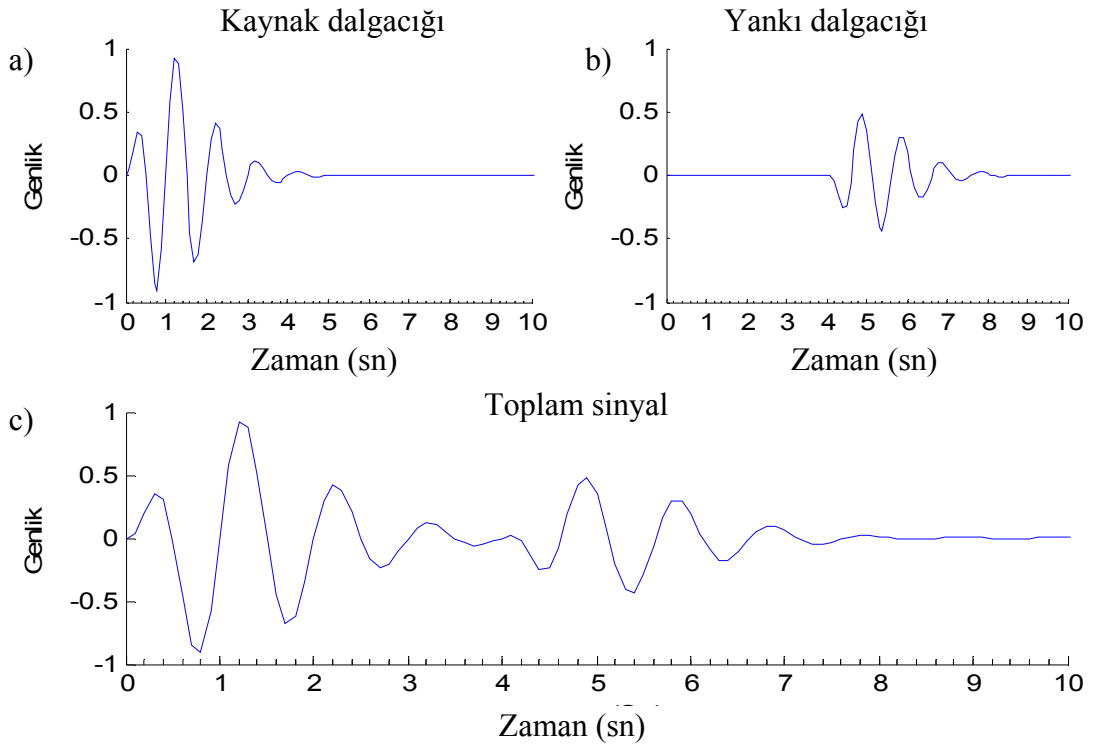
Şekil 41. Şekil 40'daki gibi 45^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın gıriştirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları



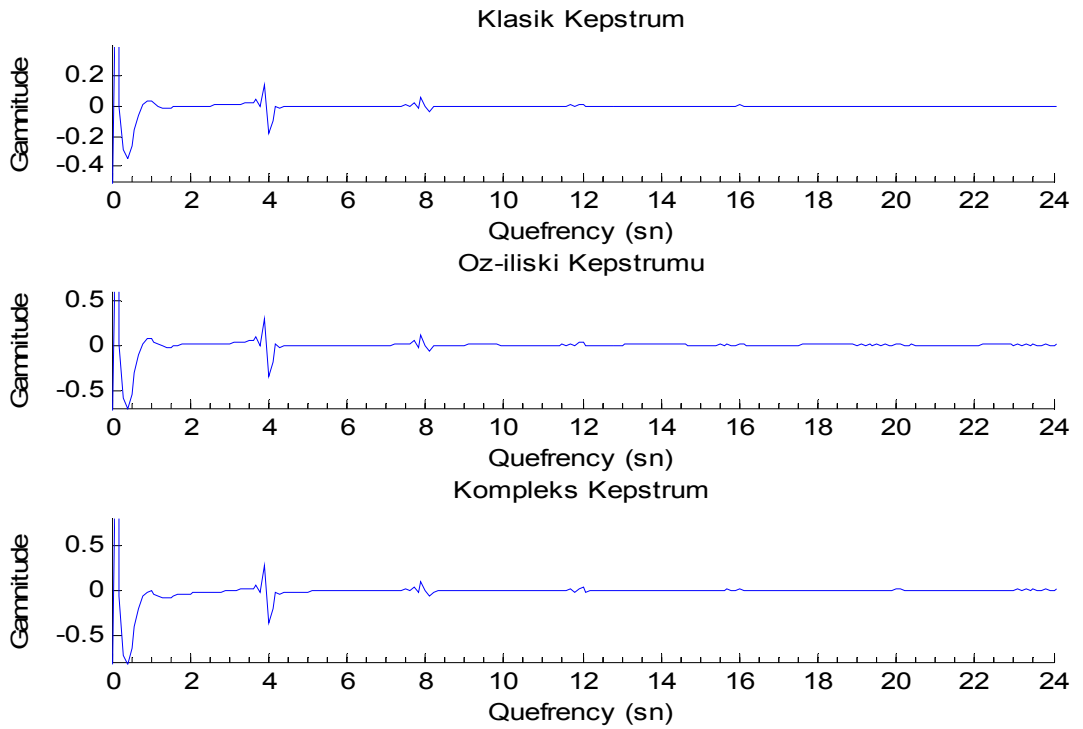
Şekil 42. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 90^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



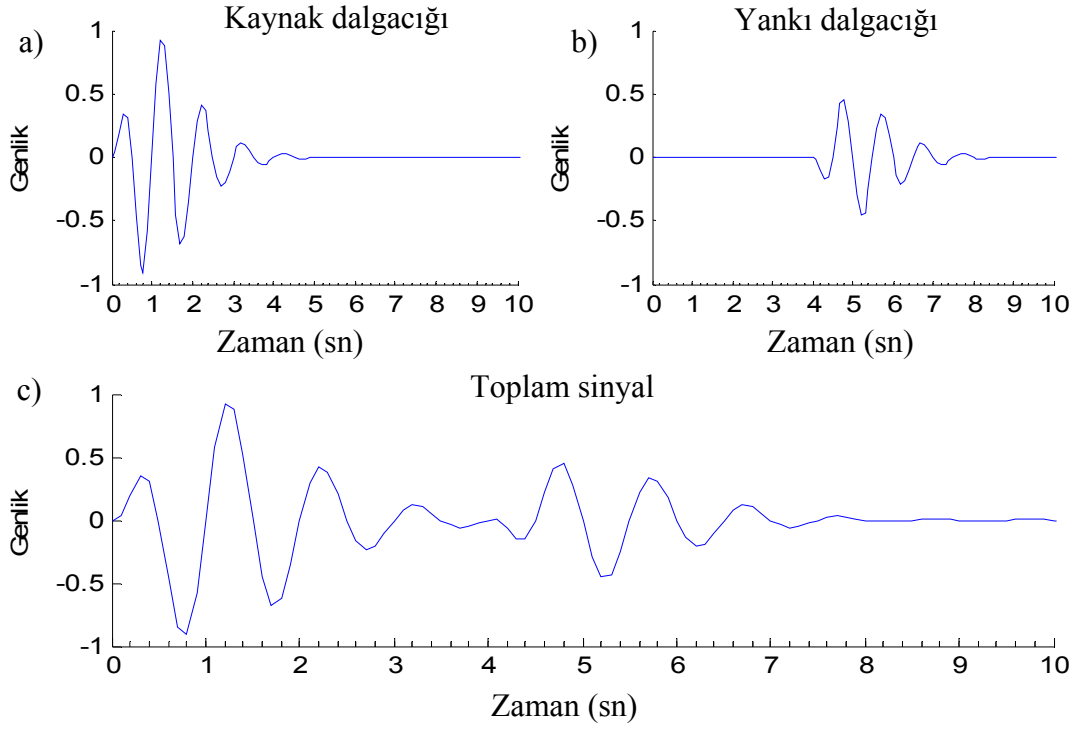
Şekil 43. Şekil 42'deki gibi 90^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları



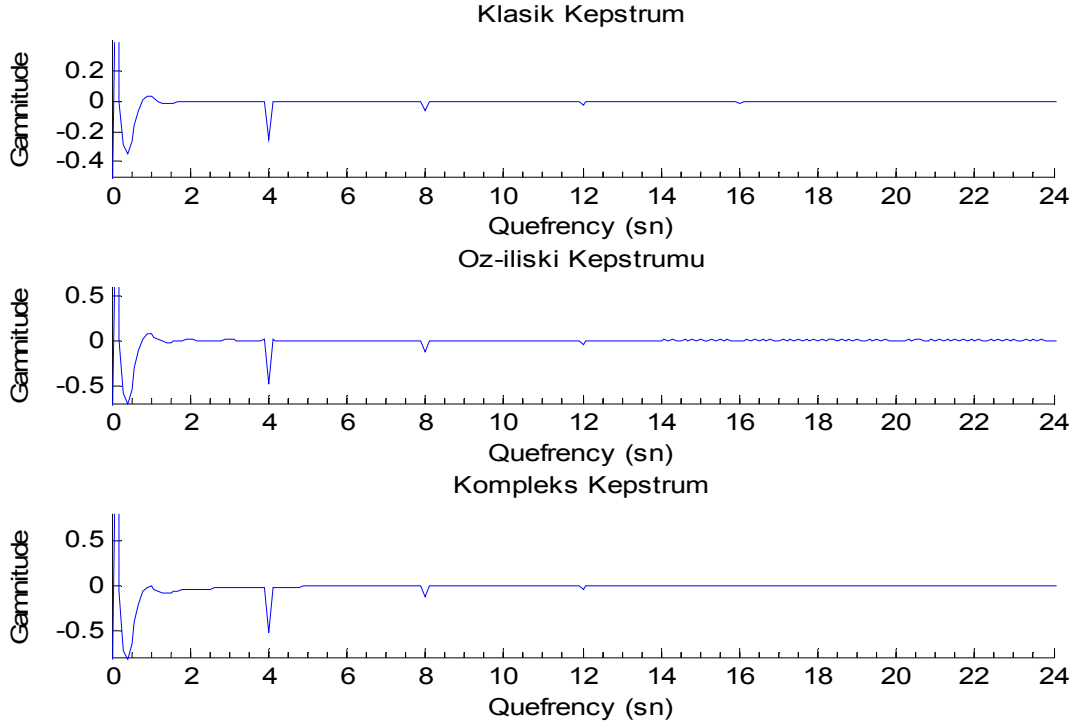
Şekil 44. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 135^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



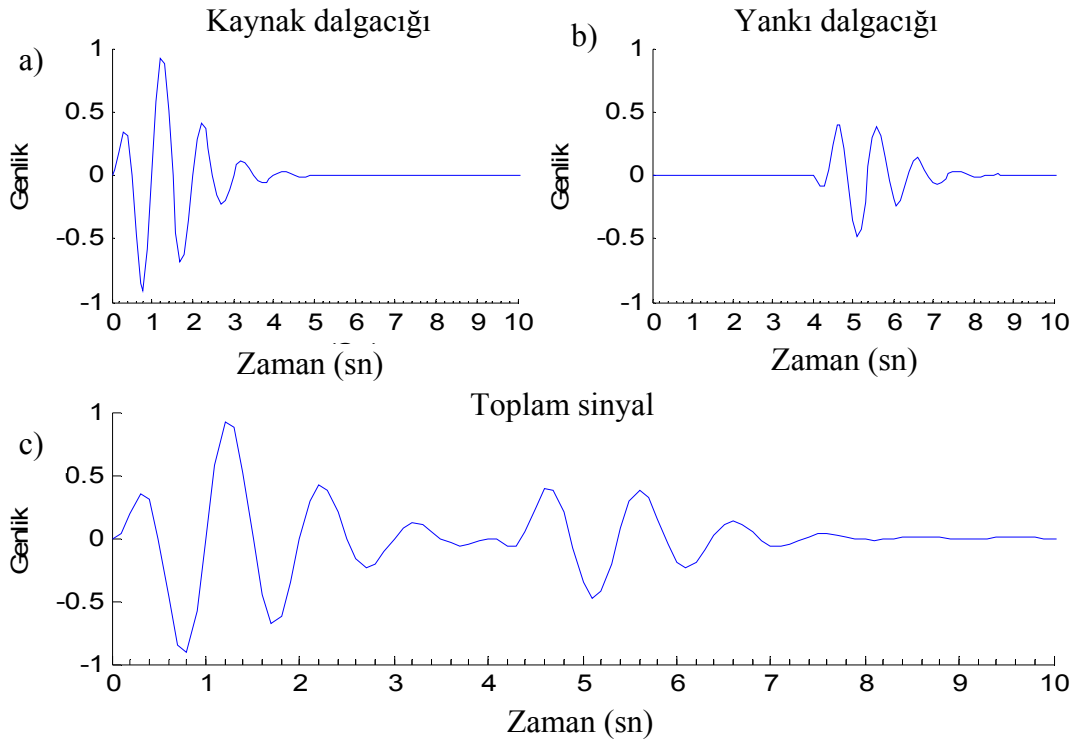
Şekil 45. Şekil 44'deki gibi 135^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın girişirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları



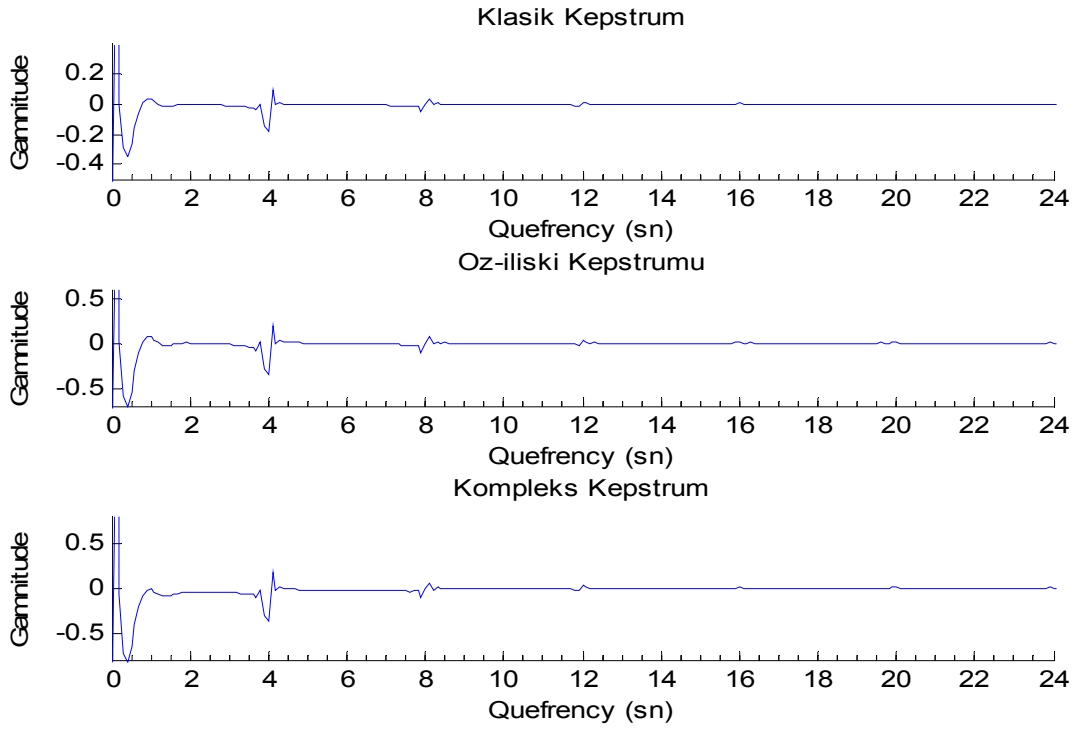
Şekil 46. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 180^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



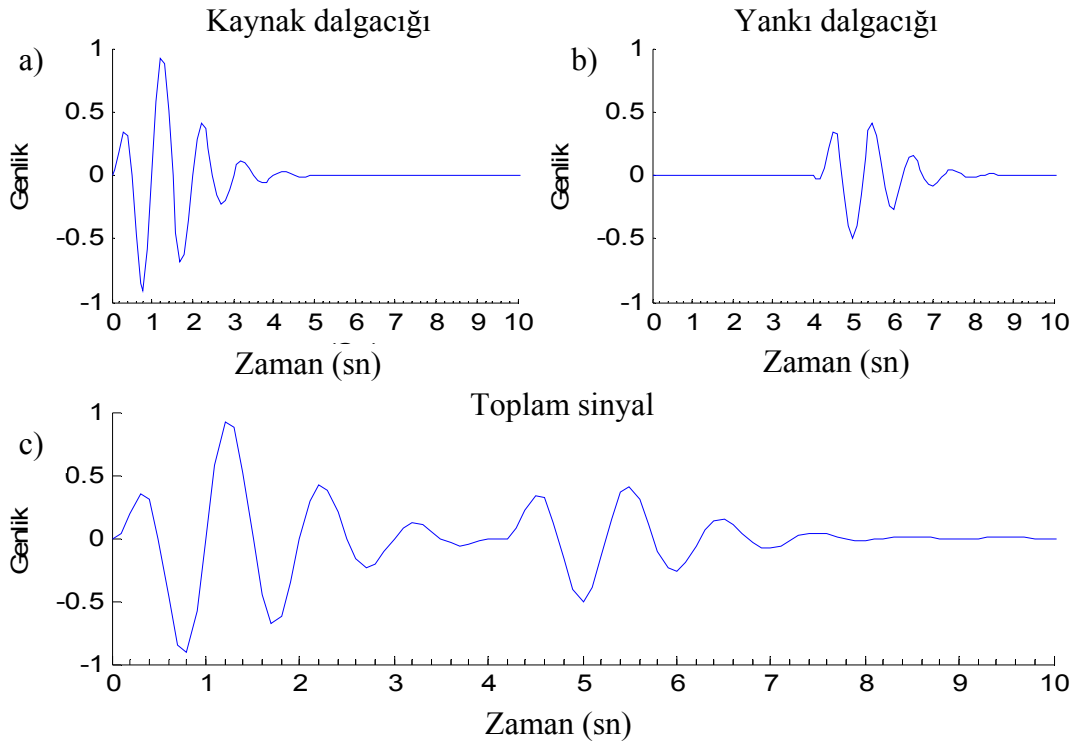
Şekil 47. Şekil 46'daki gibi 180^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) dalgacığın kepstrum sonuçları



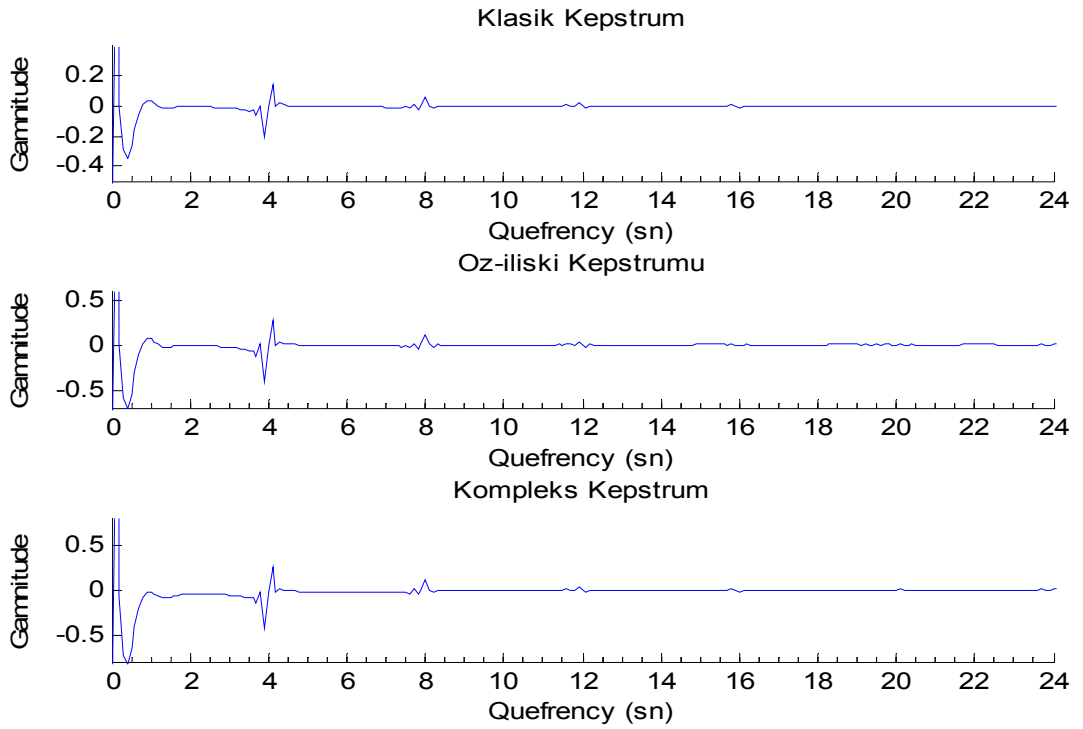
Şekil 48. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 225^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



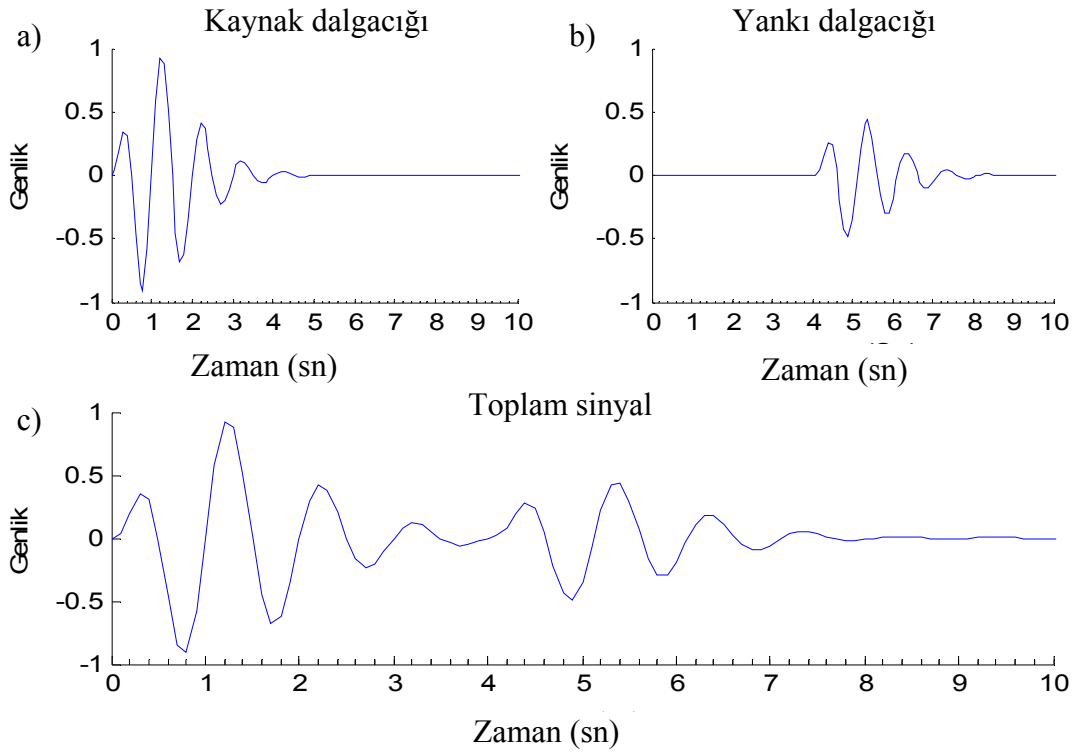
Şekil 49. Şekil 48'deki gibi 225^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) sinyalin kepsturm sonuçları



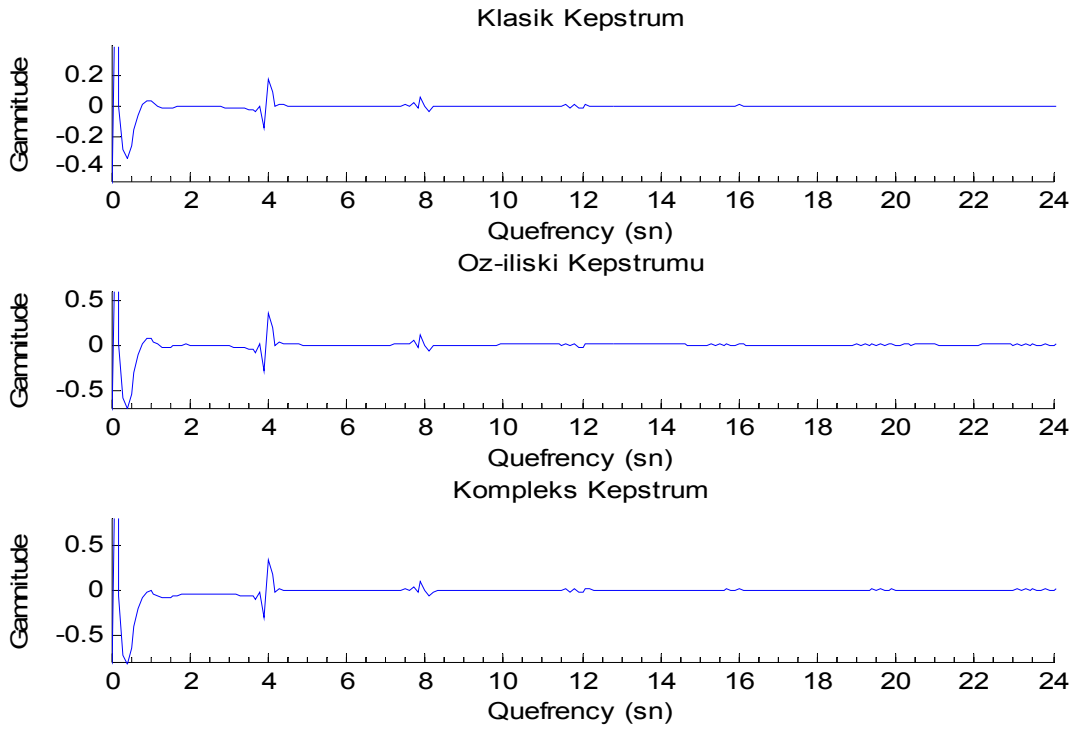
Şekil 50. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 270^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



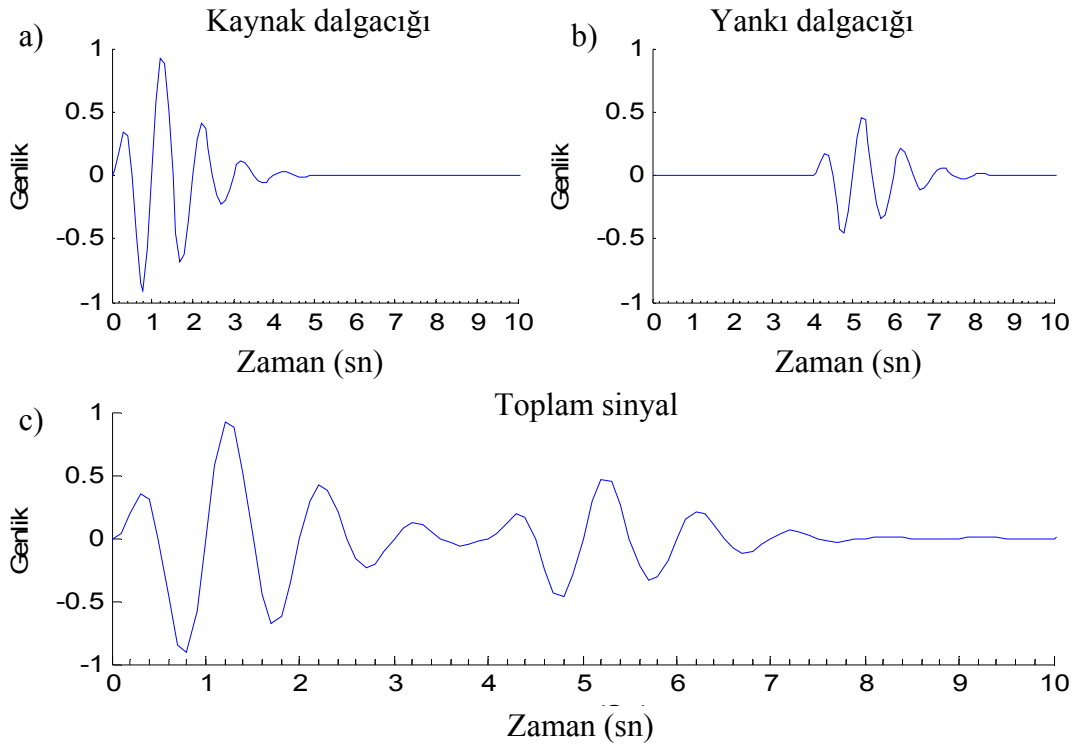
Şekil 51. Şekil 50'deki gibi 270^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) sinyalinin kepstrem sonuçları



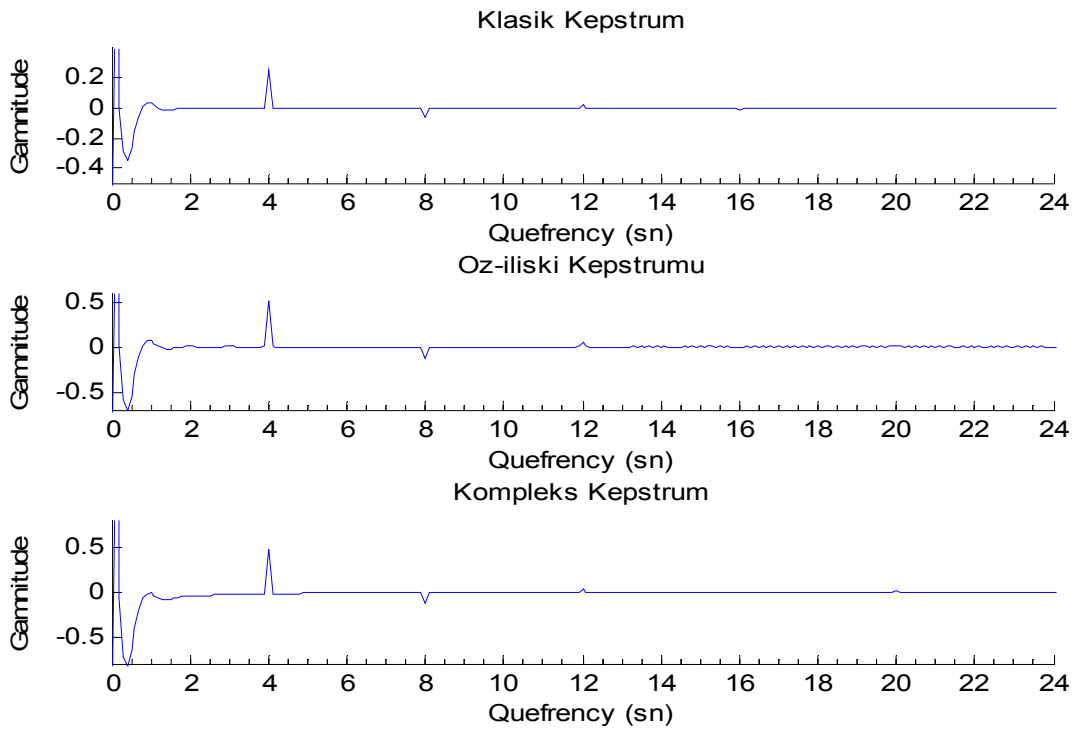
Şekil 52. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 315^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal



Şekil 53. Şekil 52'deki gibi 315^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) sinyalin kepstrum sonuçları



Şekil 54. a) Sıfır faza sahip kaynak sinyali, b) 4 sn gecikmeli 360^0 'lik faz farkına sahip yankısı, c) İki dalganın oluşturduğu toplam sinyal

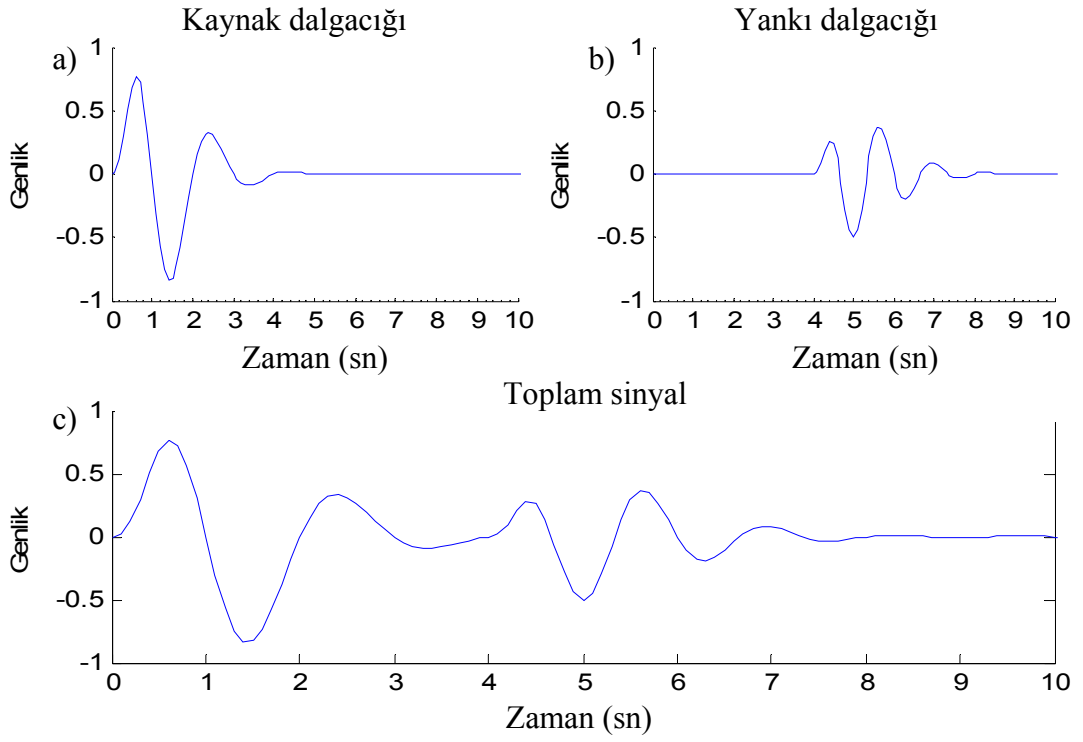


Şekil 55. Şekil 54'deki gibi 360^0 faz kaymasına sahip iki dalgacığın giriştirilmiş (toplam) sinyalin kepsturm sonuçları

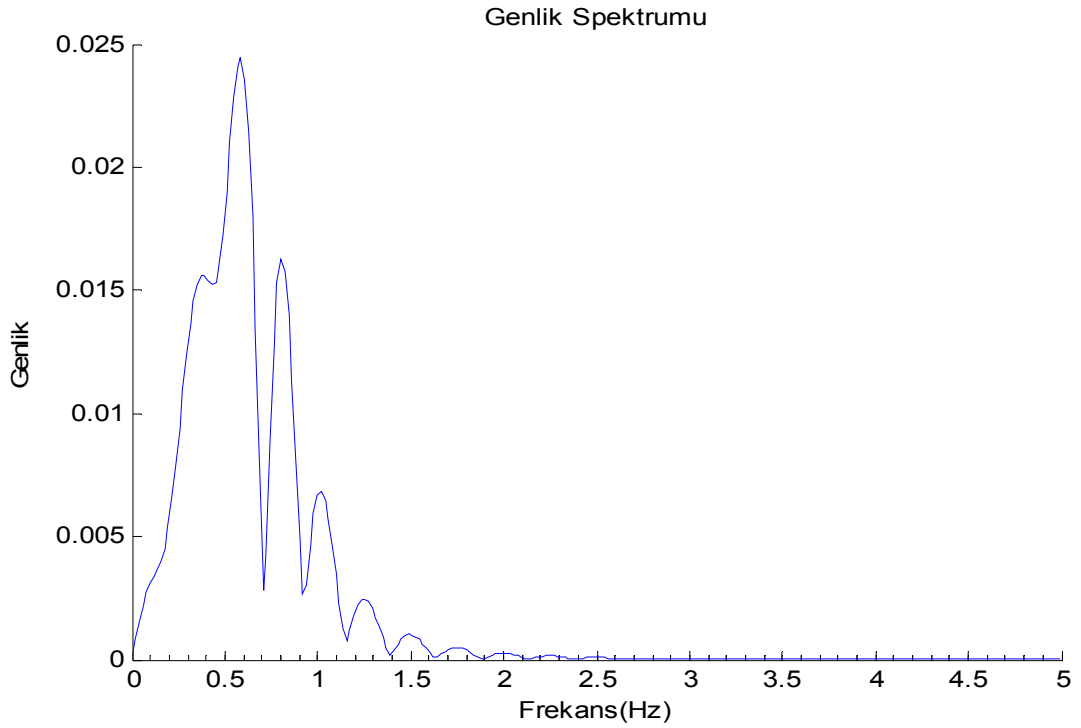
Şekil 40 ile Şekil 55 arasında iki dalgacıktan oluşan toplam bir sinyal için, sinyalin 2. bileşeni yani yankısına kaynağa göre farklı derecelerde faz farkı eklenerek kaynak ile yankının farklı fazlara sahip olduğu durumlarda kepstrum işleminin tepkisi incelenmeye çalışılmıştır. İkincil bileşen kaynağa göre 0° den 360° 'ye kadar farklı faz kaymasına uğratılmıştır. İlk olarak 45° 'lik faz farkı için toplam sinyalin üç ayrı kepstrumu hesaplanmıştır(Şekil 41). Çıkan sonuçlara göre 5 sn'deki ilk pik için orijinal şekilden (delta fonksiyonundan) bozulma gözlenmektedir. Grafikte normal olarak sadece pozitif tarafta yalın bir delta fonksiyonu gözlenmesi gerekirken negatif tarafa doğru küçük bir distorsiyon oluşumu gözlenmiştir. 90° faz farkı için 5 sn'de oluşan ilk delta fonksiyonu için pozitif ve negatif taraftaki delta fonksiyonlarının genlik değerleri eşitlenmiştir (Şekil 43). 135° 'de ise 45° 'ye göre tam tersi bir durum söz konusu olup, negatif taraftaki genlik değeri pozitif taraftakine oranla daha büyüktür (Şekil 45). 180° 'de pikin sadece negatif taraflı tek bir delta fonksiyonu var olup 0° faz farkı durumuna göre tam tersi bir durumdur.(Şekil 47). Artık buradan 360° 'ye kadar faz farkları için durum tam tersi bir şekilde ilerleyecektir. 270° 'ye kadar negatif taraftaki delta fonksiyonu küçülmekte ve pozitif değerli pik ile 270° 'de eşitlenmektedir (Şekil 49,51). Faz farkı değeri arttırıldıkça pozitif genlik artmaya devam etmekte ve 360° 'de yani faz farkının olmadığı durumda ilk delta fonksiyonu için sadece pozitif tarafta gözlenmekte ve tekrarlarında ise pozitif negatif delta fonksiyonları halinde küçülmektedir (Şekil 51, 53, 55). Buna bağlı olarak kepstrum sonuçlarından pozitif, negatif genlik oranlarının incelenmesiyle iki dalgacık arasındaki faz farkı bulunabilir.

2.1.3.2. Frekans İçeriği Hafifçe Değiştirilmiş (Dalga Şekli Değiştirilmiş) Kaynak Ve Bir Yankılı Modeller İçin Kepstrum Sonuçları

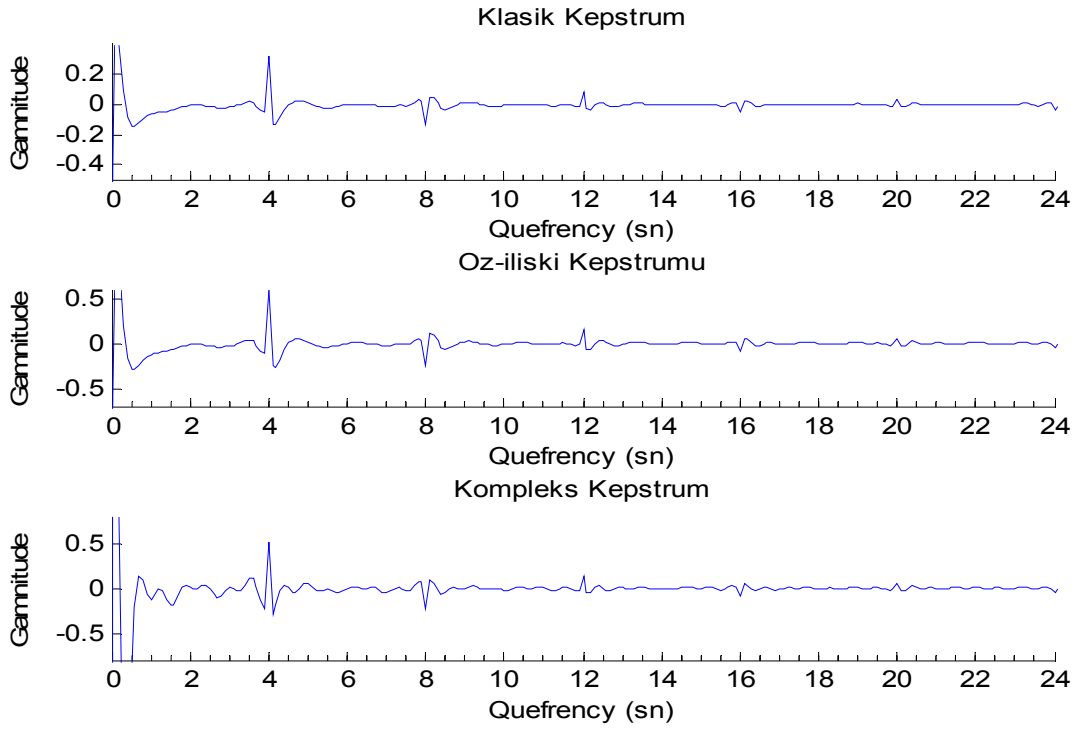
Kaynak ve yankıya ait sinyallerin merkez frekansları (MF) değiştirilerek birbirinden dalga şekli olarak farklı sinyaller oluşturulabilir. Bu şekilde oluşturulacak toplam dalgaların kepstrum ortamında irdelenmesi frekans bağımlılığı için önemlidir. Gerçek veriler genellikle farklı frekans içeriklerini bir arada bulundurlar. Önceden farklı frekans içeriklerinin kepstrum üzerinde etkileri incelenerek, ileride karşılaşılabilecek problemlerin çözümü için bir kolaylık sağlanabilir. Bunun için iki sinyalden oluşan toplam dalgacığa ait, kaynak ve yankısının her ikisi için de değişik merkez frekanslı sinyaller oluşturulacaktır. Bu değişik frekanslı sinyaller toplanarak kepstrum ortamında sonuçları irdelenecektir.



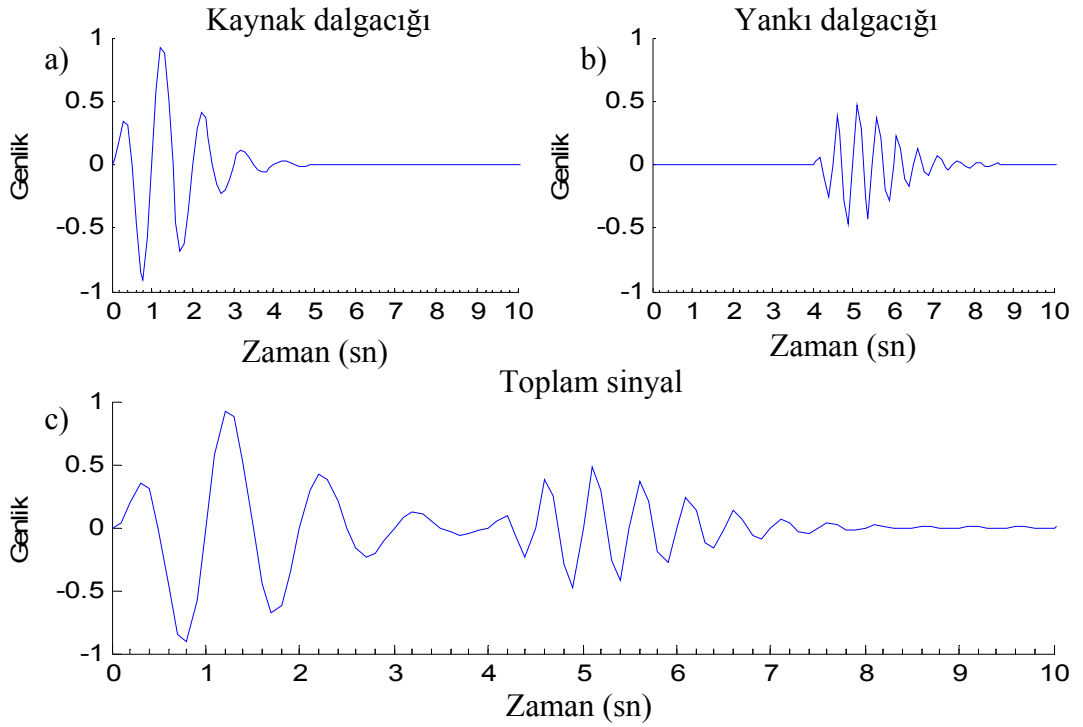
Şekil 56. a) MF= 0.5 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 0.75 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı



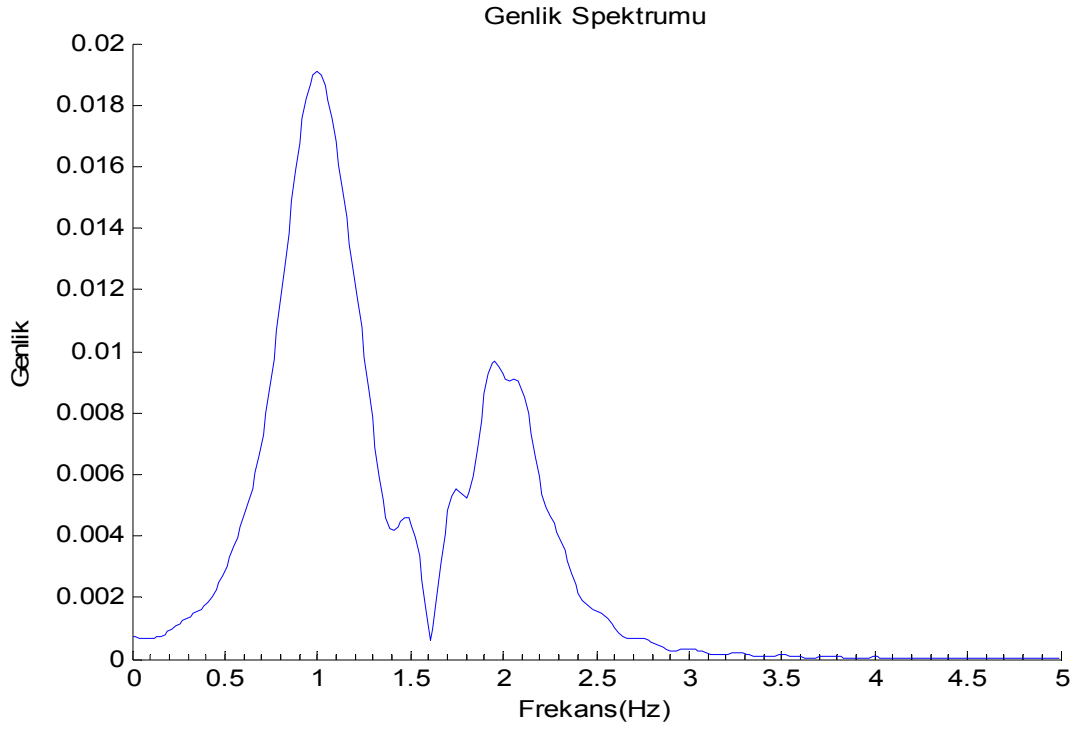
Şekil 57. Şekil 56 c' deki toplam sinyalin genlik spektrumu



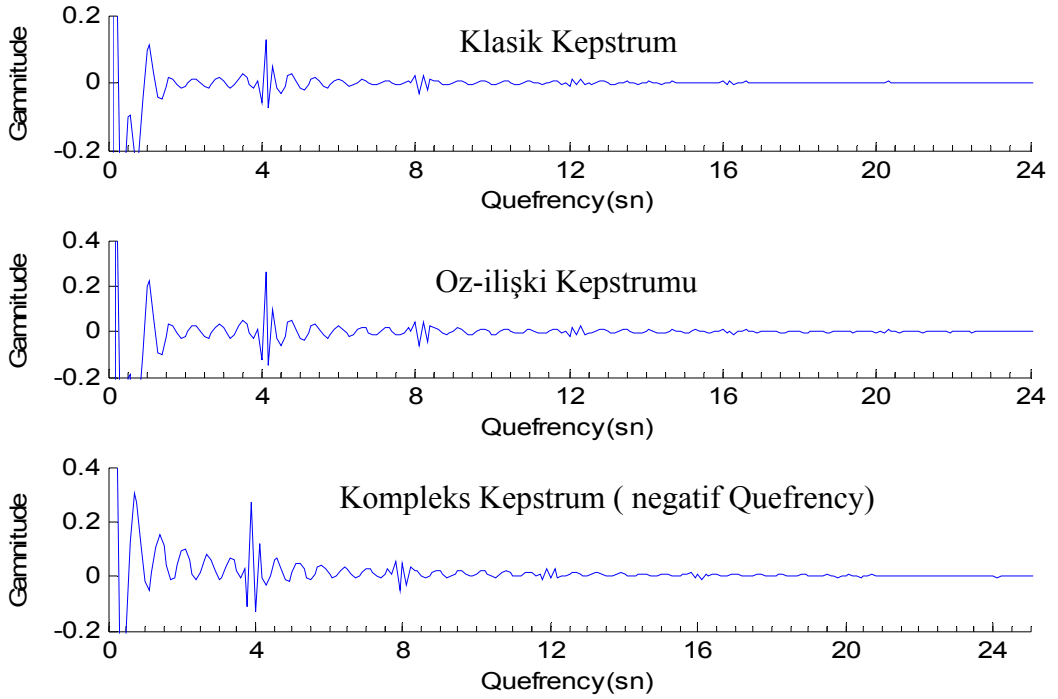
Şekil 58. Şekil 56 c'deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları



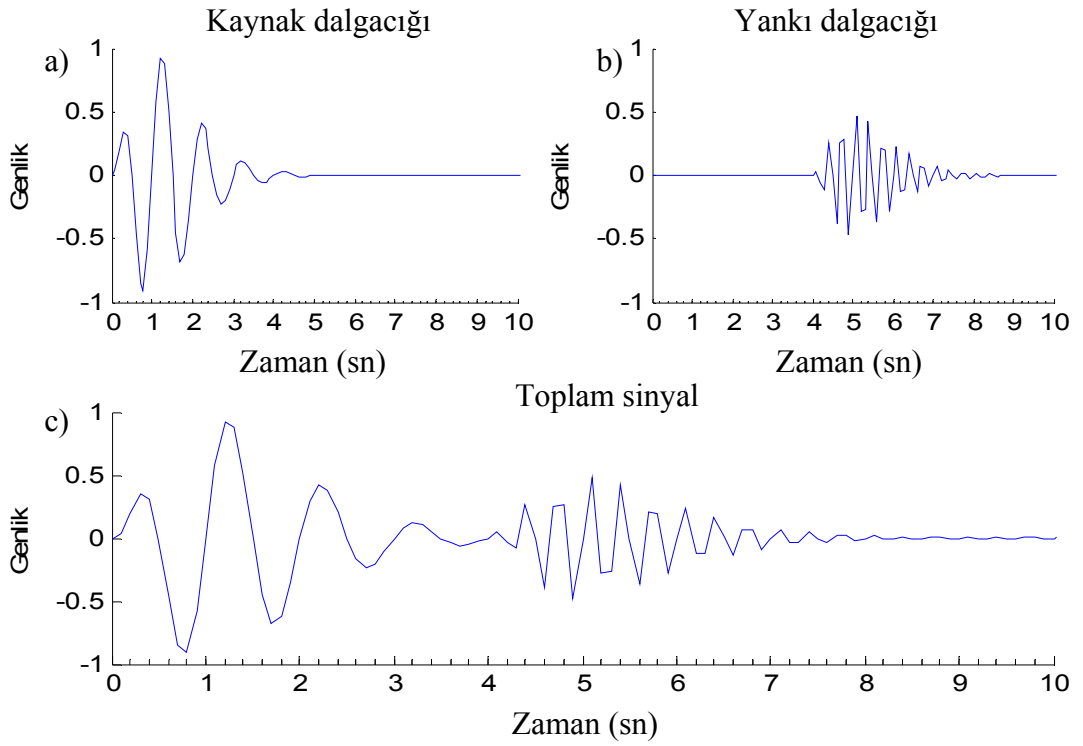
Şekil 59. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 2 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı



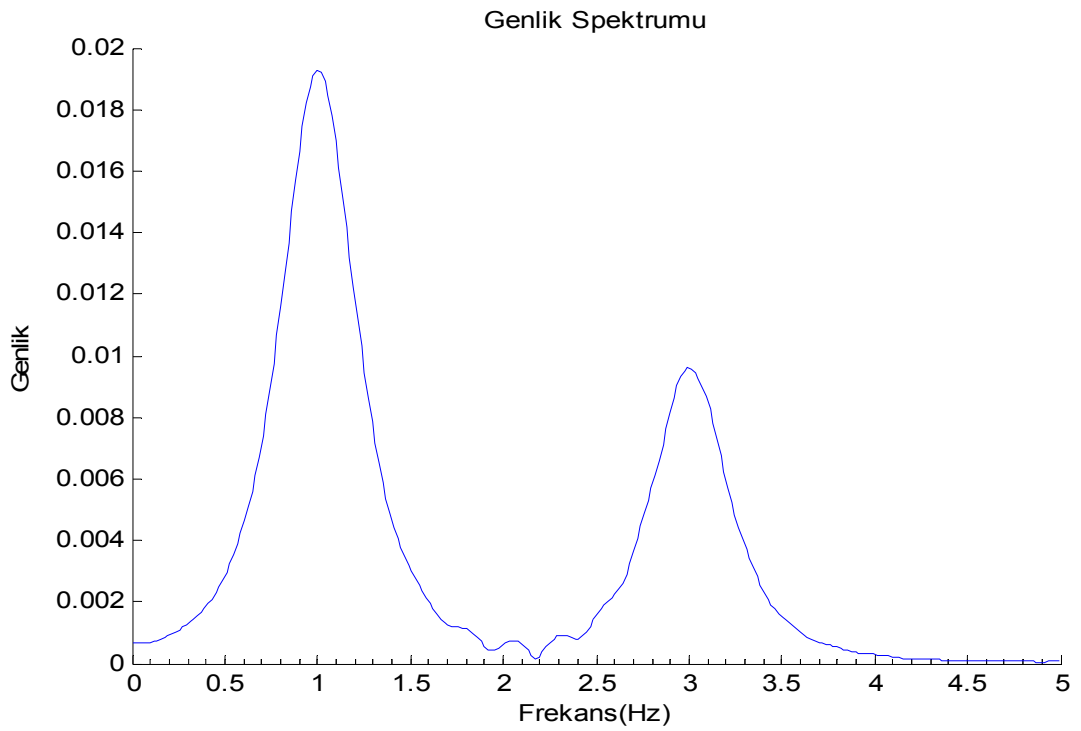
Şekil 60. Şekil 59 c' deki toplam sinyalin genlik spektrumu



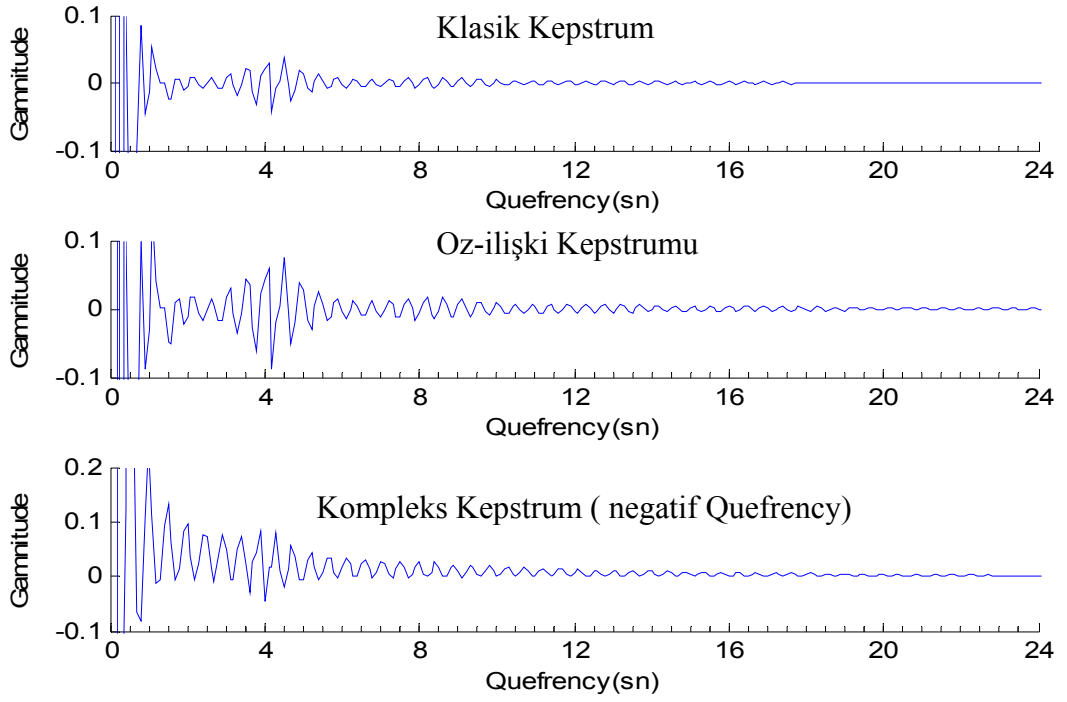
Şekil 61. Şekil 59 c' deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları



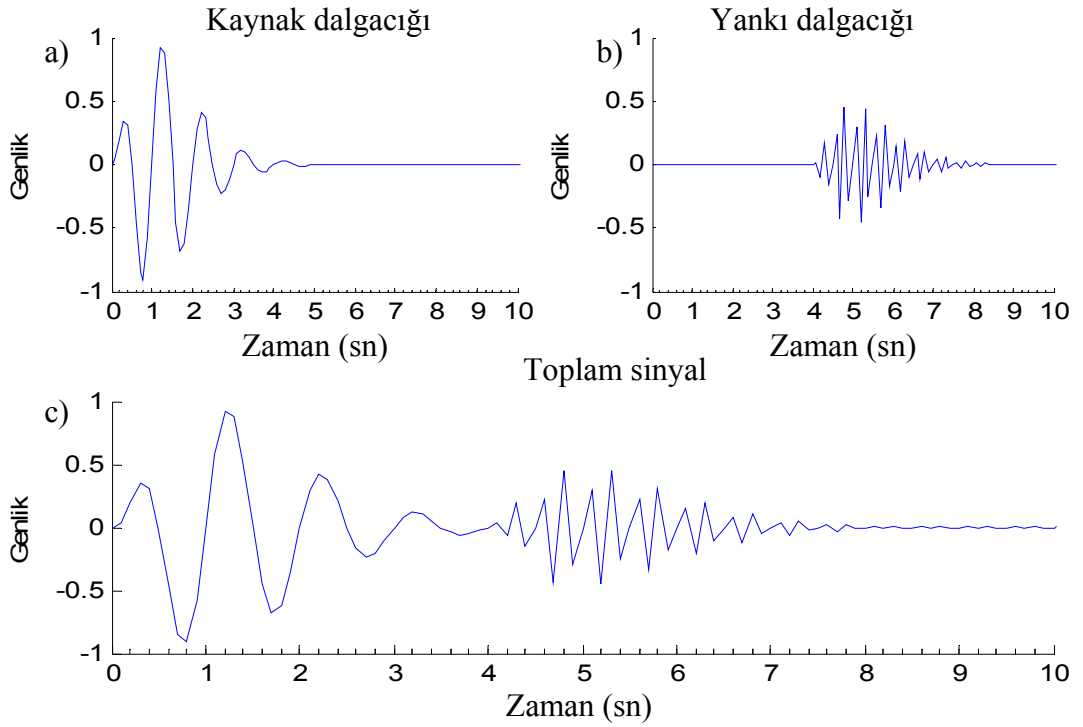
Şekil 62. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 3 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı



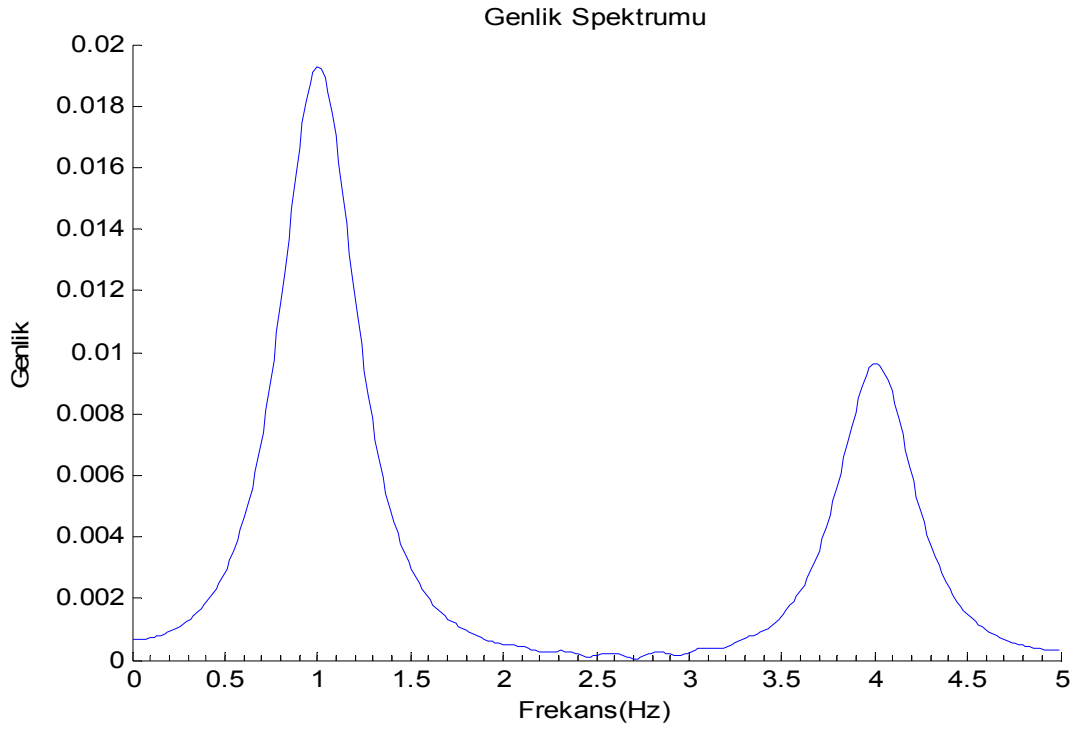
Şekil 63. Şekil 61 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu



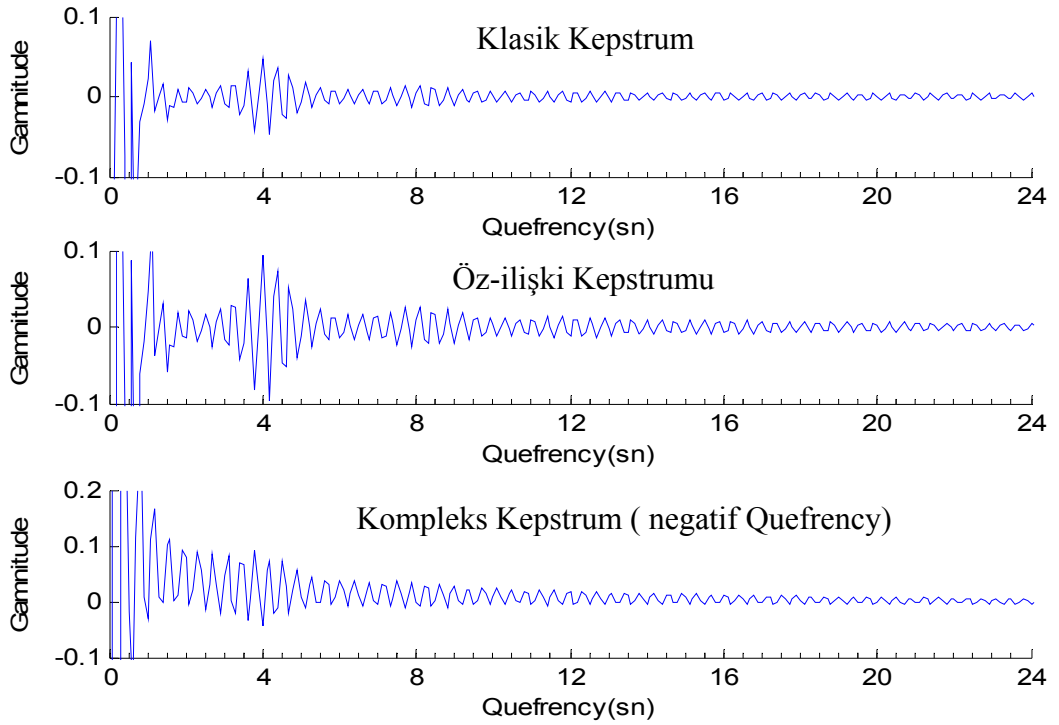
Şekil 64. Şekil 62 c' deki toplam sinyalin kepstrum sonuçları



Şekil 65. a) MF= 1 Hz olan kaynak dalgacığı, b) MF= 4 Hz olan yankısı, c) İki sinyalin toplamı



Şekil 66. Şekil 65 c'deki toplam sinyalin genlik spektrumu



Şekil 67. Şekil 65 c'deki gibi oluşturulan toplam sinyalin kepstrum sonuçları

Değişik frekans içeriğine sahip toplam dalgalar üzerinde yapılan kepstrum çalışmalarında, farklı frekans içeriğine sahip kaynak ve yankıdan oluşan sinyalin kepstrum üzerinde nasıl bir etki yarattığı araştırılmıştır. Bunun için farklı merkez frekanslara sahip kaynak ve bir yankıdan oluşan toplam dalgacıklar üzerinde üç ayrı kepstrum hesaplanarak sonuçlar incelenmiştir.

İlk olarak Şekil 56'da kaynak dalgacığı $MF = 0.5$ Hz ve yankı dalgacığı ise $MF = 0.75$ Hz frekansına sahip olup, aralarındaki gecikme zamanı ise 4 sn olarak girştirilmiştir. Toplam dalgacığın frekans ortamındaki görünümü genlik spektrumu olarak Şekil 57'de verilmektedir. Bunun kepstrum sonuçlarına bakıldığında her iki bileşenin farklı merkez frekanslı olması nedeniyle kepstrum ortamında 4 sn ve katlarında keskin delta fonksiyonları beklenirken küçük distorsiyonlar gözlenmiştir (Şekil 58).

Şekil 59'da ise yine benzer bir toplam dalga şekli, ama bu sefer merkez frekansları 1 Hz ve 2 Hz olan sinyallerden oluşan toplam sinyal incelenmiştir. Şekil 60'ta ise toplam sinyalin genlik spektrumu gösterilmiştir. Bu şekilde oluşturulan girişmiş dalgacığın kepstrum sonuçlarına bakıldığında dalgalanmanın (distorsiyon) daha da arttığı görülmektedir (Şekil 61). Ayrıca burada kompleks kepstrumun diğer iki kepstrum yöntemine göre negatif quefrensylerde distorsiyona uğramış delta fonksiyonları göstermektedir.

Kaynak ve yankısı arasındaki merkez frekans farkı daha da arttırılarak distorsiyon daha da belirginleştirilmeye çalışılmıştır. Kaynak ve yankısı için merkez frekansları 1 Hz ve 3 Hz olan toplam sinyal Şekil 62'de verilmektedir. Şekil 62'deki toplam sinyalin genlik spektrumu Şekil 63'deki gibidir. Bu şekildeki toplam sinyale ait kepstrum sonuçlarında distorsiyonlar artarak, tam olarak hangi quefrensyde bir delta fonksiyonunun oluştuğunu kestirmek güçleşmiştir (Şekil 64). Kaynak ve yankı arasındaki merkez frekans farkı arttığı için kompleks kepstrum yine negatif quefrensylerde belirgin değerler vermektedir.

Kaynak ve yankısı sırasıyla $MF = 1$ Hz ve $MF = 4$ Hz olacak şekilde hazırlanan son toplam sinyal Şekil 65'de gösterilmiştir. Şekil 66'da ise genlik spektrumu verilmektedir. Bu şekildeki bir sinyal şekli için kepstrum sonuçları incelendiğinde yaklaşık 4 sn civarında klasik ve öz-ilişki kepstrumlarında pozitif quefrensylerde bir belirti görülmekte fakat kompleks kepstrum yine merkez frekanslarının farklı olması nedeniyle negatif tarafta belirgin bir değer göstermemektedir (Şekil 67).

Sonuç olarak farklı merkez frekanslardan oluşan toplam sinyallerin kepstrum üzerinde olması gereken delta fonksiyonlarında distorsiyonlar oluşmaktadır. Eğer toplam

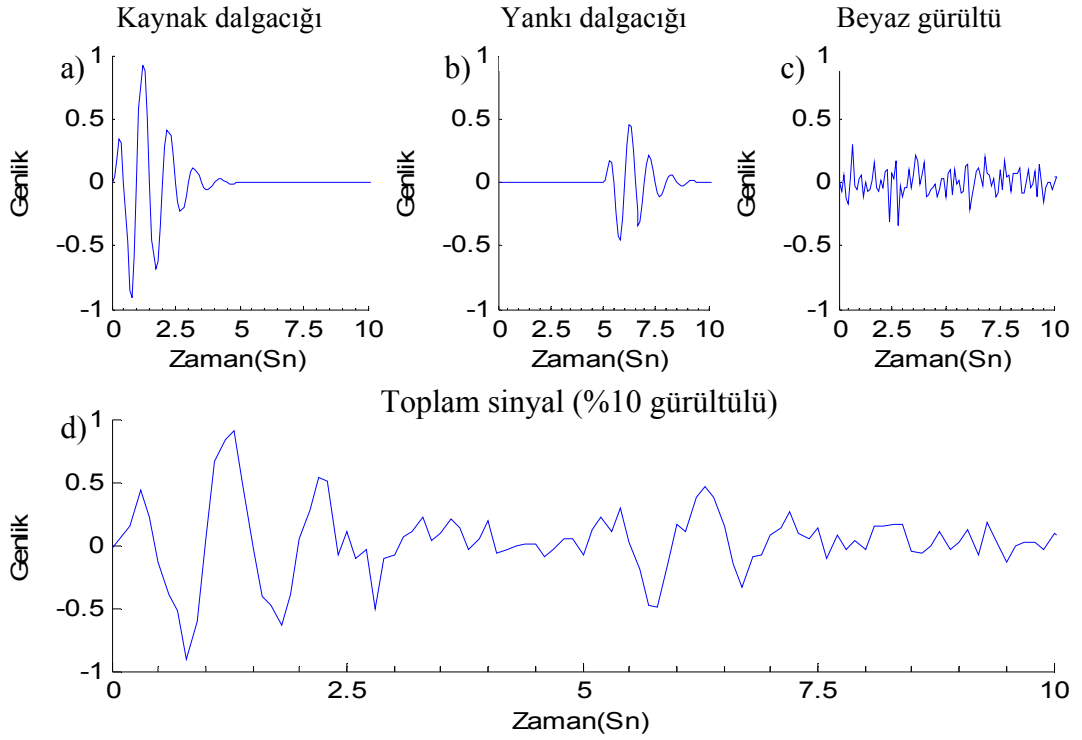
sinyal farklı merkez frekans içeriğine sahip bileşenleri içeriyorsa, kepstrum ortamında çözüm zorlaşmaktadır. Bu durumu veri işlem açısından kolaylaştırmak için sinyalin frekans ortamında incelenerek bir hakim frekans bandı belirlenmelidir. Daha sonra bu hakim frekans bandı dışındaki bileşenlerin, birazda veriden kayıplar göz önüne alınarak süzülmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılacak olan kepstrum çalışmaları daha tutarlı olabilir ve değişik gecikmelere sahip bileşenler arasındaki farklar kepstrum ortamında daha keskin hale getirilebilir. Kompleks kepstrum farklı frekans bileşenleri için bir ayraç olarak kullanılabilir.

2.1.3.3. Gürültülü Model Çalışmaları

İki adet sinyalden oluşan veriler üzerinde yapılacak olan gürültü analizinde iki farklı gürültü içerikli modeller kullanılmıştır. Bunlardan ilki bir zaman fonksiyonunun tüm değerleri için frekans ortamında aynı oranda enerji taşıyan beyaz gürültü, diğeri ise frekans ortamında farklı frekanslarda değişik enerjiler içeren renkli gürültülerdir.

2.1.3.3. 1. Beyaz Gürültü

Veriye eklenecek beyaz gürültü veri boyuyla eşit olacak şekilde normal Gaussian dağılımına sahiptir. Gürültü eklenecek verinin maksimum genliği bir olduğundan gürültünün genliği sıfır ile bir arasında bir değerle çarparak değişik yüzdelerde gürültü değerleri elde edilmiş olacaktır. Yani Berlage fonksiyonunun genliği $a = 1$ ve bu genlik değerine %20 gürültü eklemek istenirse, toplam gürültü 0.2 ile çarpılıp veriye eklenirse %20 gürültülü bir veri elde edilmiş olur. Şekil 68 'de aralarındaki gecikme zamanı farkı 5 sn olan iki Berlage fonksiyonuna %10 oranında beyaz gürültünün eklenmesi gösterilmiştir. Şekil 68 a'da kaynak fonksiyonunu temsil eden Berlage fonksiyonu, Şekil 68 b'de 5 sn gecikmeli yankı fonksiyonu, Şekil 68 c'de %10 gürültüye sahip beyaz gürültü ve Şekil 68 d'de ise toplam sinyal verilmiştir.

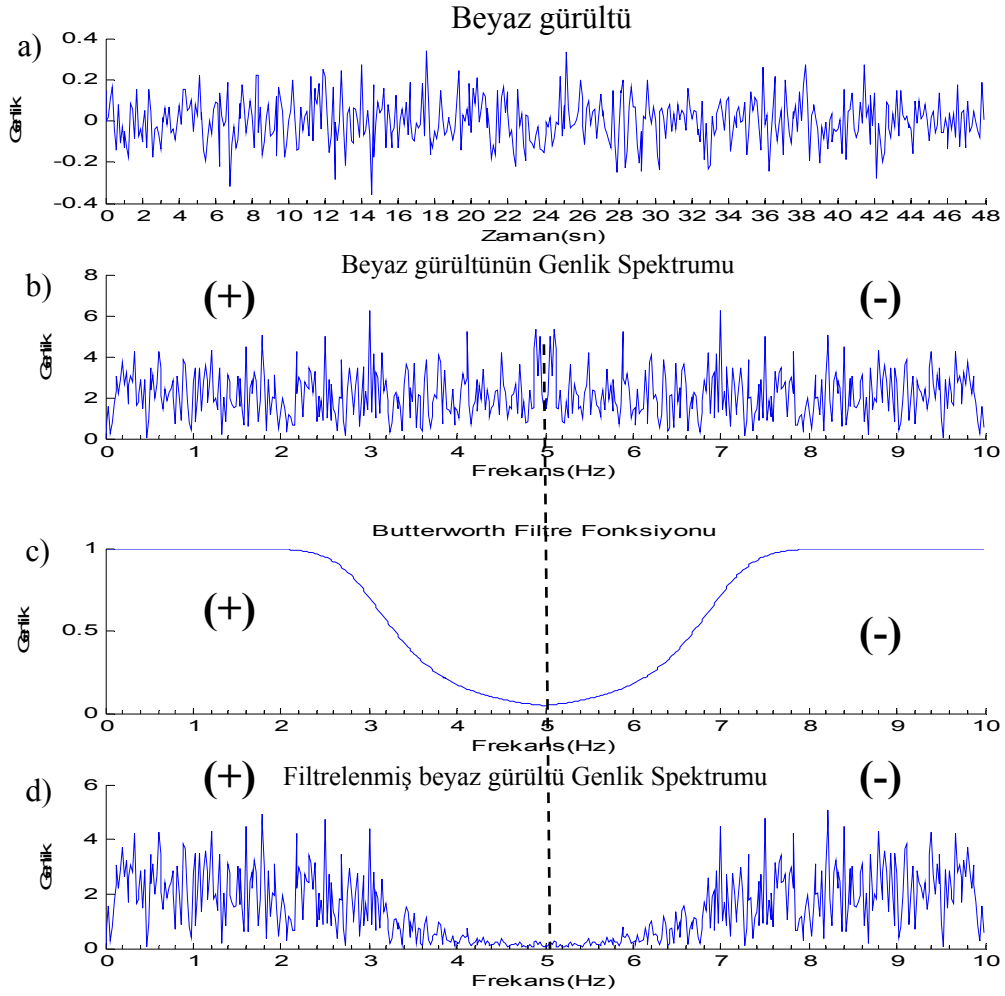


Şekil 68. Aralarındaki gecikme zamanı 5 sn olan bir kaynak ve yankıdan oluşan toplam sinyale %10 oranında gürültü eklenmesi, a) Kaynak dalgacı, b) 5 sn gecikmeli yankısı, c) Beyaz gürültü, d) Toplam sinyal

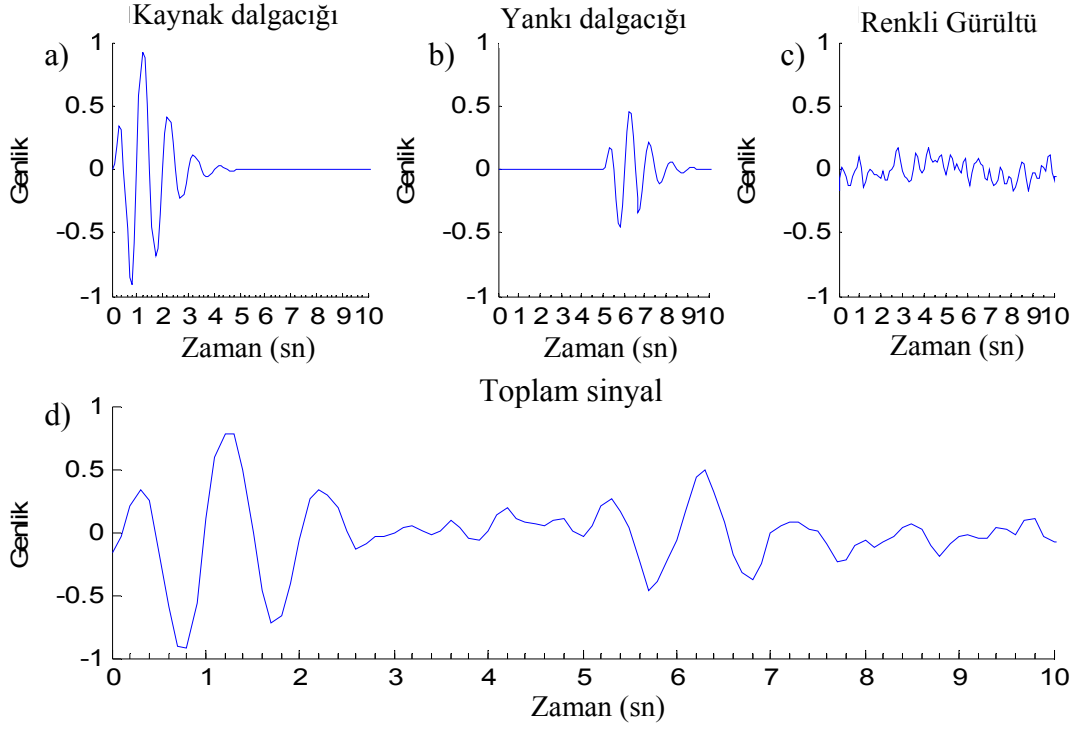
2.1.3.3.2. Renkli Gürültü

Renkli gürültü genlik spektrumunda farklı frekanslarda farklı enerjilere sahip olan değerler gurubu olarak tanımlanabilir. Renkli gürültünün oluşturulması için öncelikle tüm frekanslarda eşit oranda enerjiye sahip beyaz bir gürültünün oluşturulması gerekmektedir. Daha sonra oluşturulan bu gürültünün genlik spektrumuna bakılırsa, beklenildiği gibi tüm frekanslarda enerjiler homojen olarak dağılmış görülecektir. Frekans ortamındaki bu homojenlikten kurtulmak için kullanıcıya kalmış değişik türde filtre fonksiyonları kullanılarak, hazırlanan fonksiyon ile beyaz gürültünün genlik spektrumu çarpılır. Çarpım sonucunda elde edilen genlik spektrumu tekrar zaman ortamına dönüştürüldüğünde elde edilen zamana bağlı fonksiyon renkli gürültü fonksiyonu olarak isimlendirilmektedir. Şekil 69 a'da veri boyuna uygun bir beyaz gürültü gösterilmiştir. Bu gürültünün Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumunun çizimi Şekil 69 b'de verilmektedir. Genlik spektrumundaki homojenliği ortadan kaldırmak için Şekil 69 c'de gösterildiği gibi Butterworth filtre fonksiyonuyla filtrelenmesi gösterilmiştir. Filtrelenmiş genlikler Şekil 69

d’de gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Daha sonra ters Fourier dönüşümü alınarak zaman ortamında renkli gürültü elde edilir.

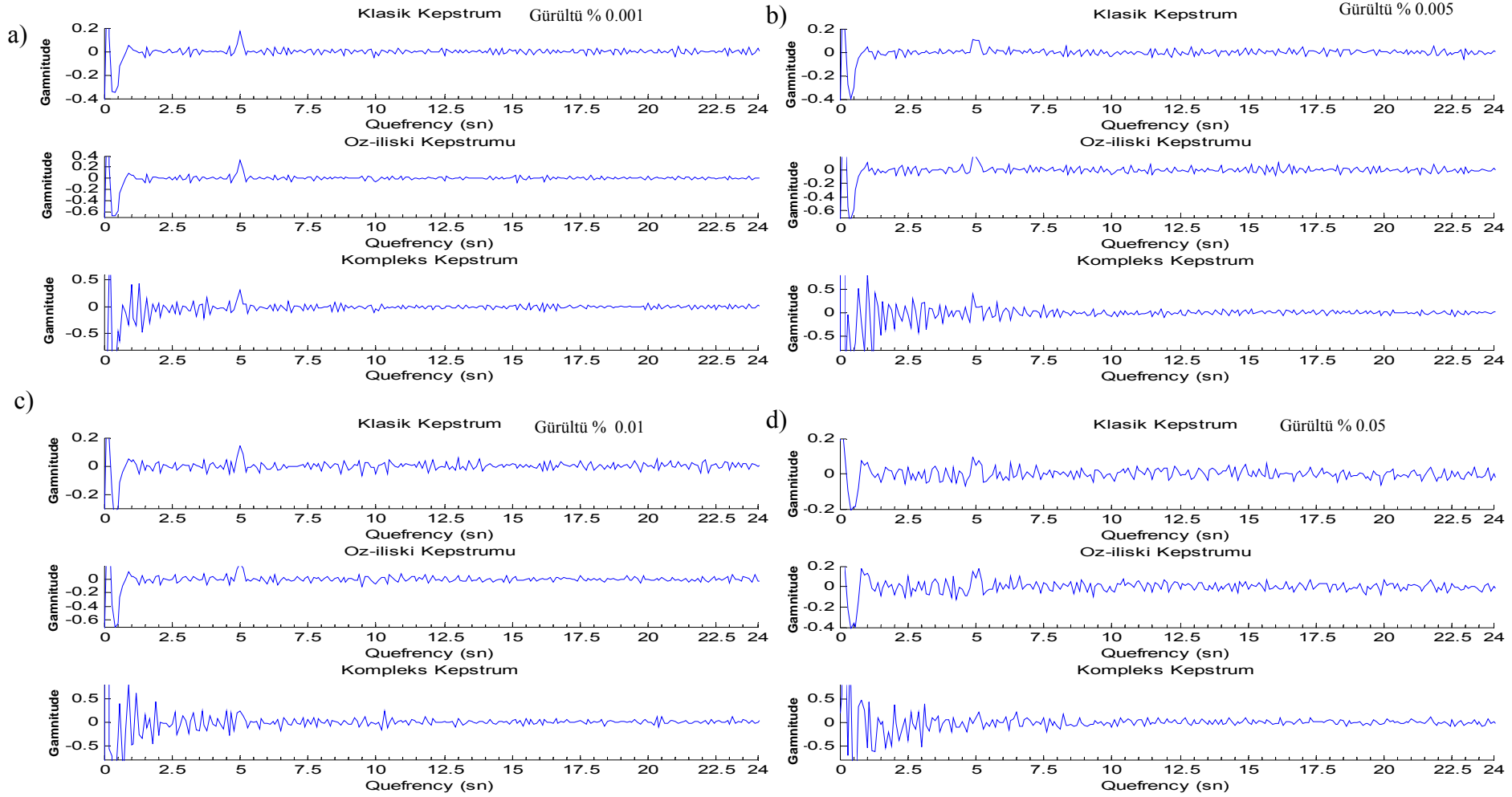


Şekil 69. Beyaz gürültü ve bunun frekans ortamında bazı enerji seviyelerinin sönümlenmesi için filtreleme uygulanması, a) Beyaz gürültü, b) Beyaz gürültünün Genlik spektrumu, c) Uygulanan alçak geçişli Butterworth filtresi, d) Filtrelenmiş beyaz gürültü Genlik Spektrumu

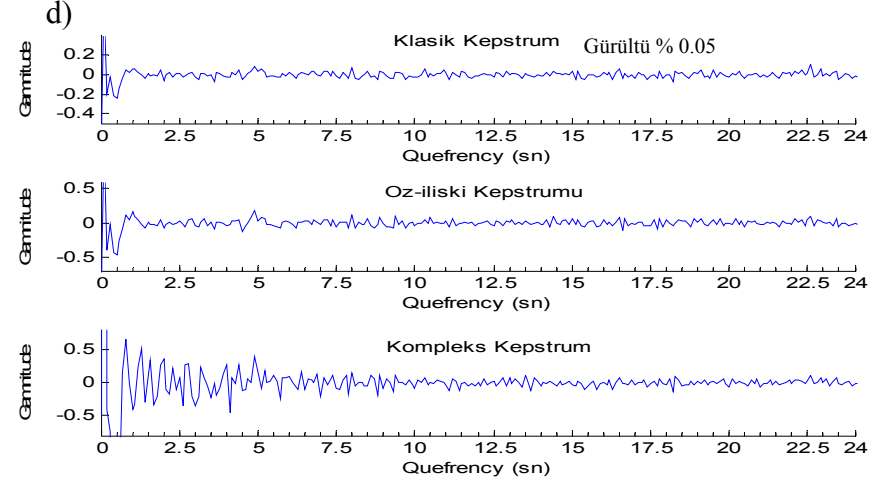
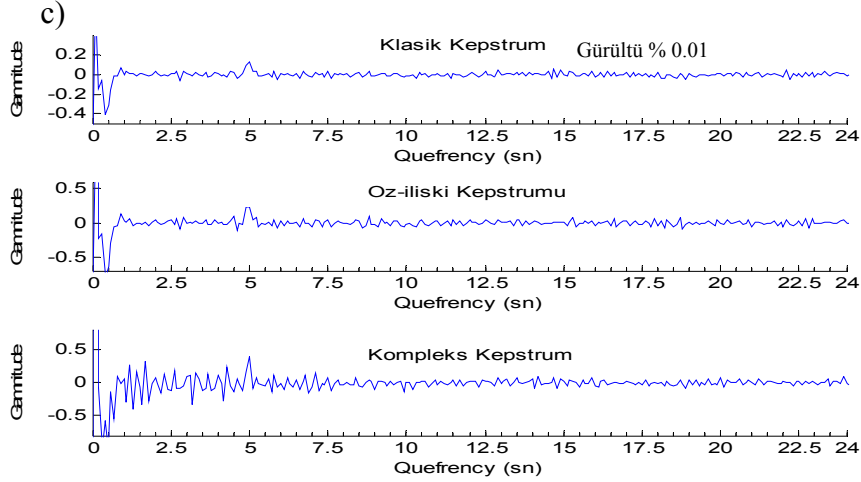
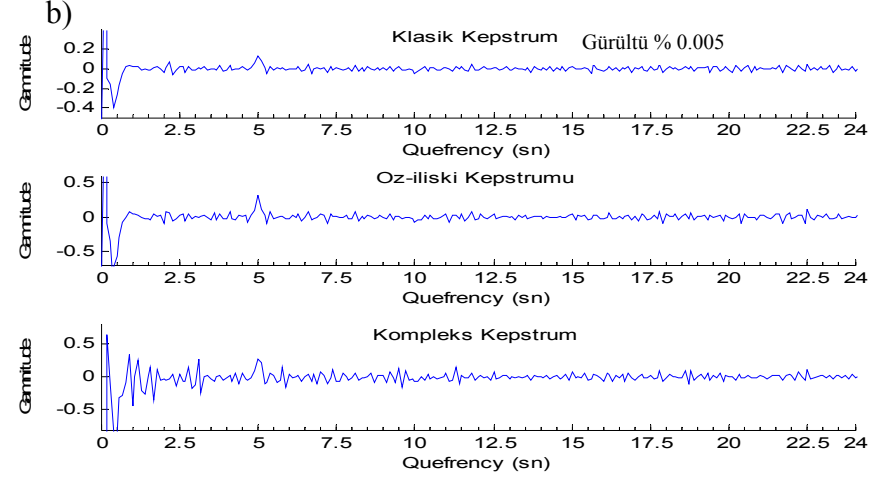
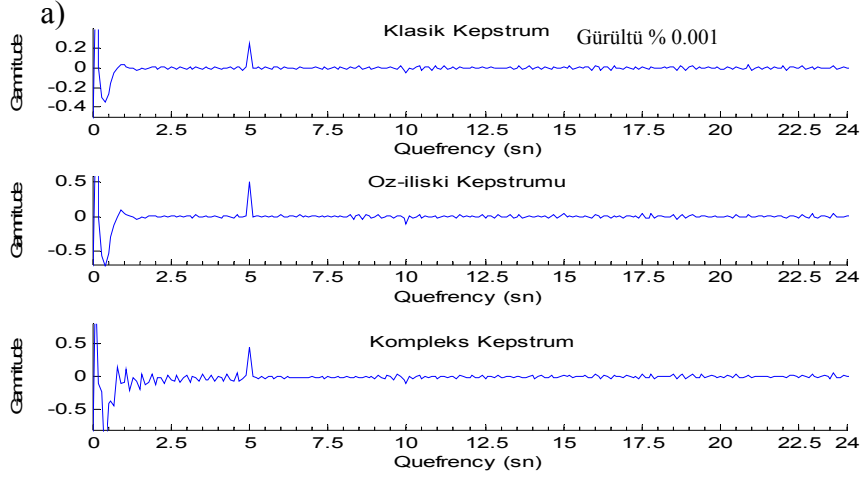


Şekil 70. Şekil 69'da filtrelenmiş beyaz gürültünün ters Fourier dönüşümüyle zaman ortamına aktarılması, a) Kaynak dalgacığı, b) 5 sn gecikmeli yankısı, c) Renkli gürültü bileşeni, d) Renkli gürültülü toplam dalga

Yukarıdaki şekillerde beyaz ve renkli gürültünün nasıl bir şekilde oluşturuldukları gösterilmeye çalışılmıştır. Bu bilgiler ışığında ilk önce sinyale Gauss normal dağılımına sahip gürültü, yani beyaz gürültü eklenerek kepstrum sonuçları irdelenmiştir. Daha sonra aynı veri üzerine bu defa renkli gürültü eklenerek kepstrum sonuçları irdelenerek gürültülü durum için elde edilen sonuçlarla kıyaslama yapılacaktır. Şekil 70 a ve Şekil 70 b'de kaynak ve yankıyı oluşturan Berlage fonksiyonları çizdirilmiştir. Şekil 70 c'de Şekil 69'da nasıl oluşturulduğu gösterilen renkli gürültü çizdirilmiştir. Şekil 70 d'de ise iki sinyalin toplamından oluşan model üzerine renkli gürültülü eklenerek kepstrum alınması için hazır hale getirilmektedir.



Şekil 71. Bir yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli bir yankıdan oluşan toplam sinyale değişik oranlarda beyaz gürültü eklenmesi durumunda kepstrum sonuçları, a) % 0.001 gürültülü veri için, b) % 0.005 gürültülü veri için, c) % 0.01 gürültülü veri için, d) % 0.05 gürültülü veri için üç farklı kepstrum sonuçları



Şekil 72. Bir yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli bir yankıdan oluşan toplam sinyale değişik oranlarda *renkli* gürültü eklenmesi durumunda kepstrum sonuçları, a) % 0.001 gürültülü veri için, b) % 0.005 gürültülü veri için, c) % 0.01 gürültülü veri için, d) % 0.05 gürültülü veri için üç farklı kepstrum sonuçları

Şekil 71’de değişik oranlarda gürültü içeren beyaz gürültülü veriler için kepstrum sonuçları irdelenmeye çalışılmıştır. Şekil 71 a, b, c, d sırasıyla % 0.001, %0.005, %0.01, % 0.05 oranlı beyaz gürültüler için kepstrum sonuçlarını göstermektedir. Gürültülü veri oluşturulurken; kaynak ve 5 sn gecikmeli yankıdan oluşan toplam dalga üzerine 4 farklı oranda (% 0.001, % 0.005, % 0.01, % 0.05) veri boyutuyla eşit olacak şekilde normal dağılımlı bir Gauss gürültüsü eklenmiştir. Eklenen gürültü miktarları çok küçük olmasına rağmen sonuçlardan da görülebileceği gibi kepstrum gürültüye karşı çok hassas davranmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre ayırt edilebilecek maksimum gürültülü veri, % 0.05 gürültü oranına kadardır. Gürültü oranı bu değerden büyük olanlar için olması gereken pikler gürültünün etkisi nedeniyle kaybolmakta ve gürültüye karışmaktadır.

Şekil 72’de ise renkli gürültülü veriler için kepstrum sonuçları verilmiştir. Şekil 72 a, b, c, d sırasıyla % 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 renkli gürültüler için kepstrum sonuçlarını göstermektedir. Gürültü, veriye oranla yine beyaz gürültü oluşturulurken kullanılan gürültü yüzdeleri kullanılmıştır(% 0.001, % 0.005, % 0.01, % 0.05). Sonuçlar, beyaz gürültü modelleriyle benzer değerler vermiştir. Gürültü seviyesi en düşük alınan % 0.001’lik veri için bulunan çözüm gayet olumludur. Bunun sebebi renkli gürültü oluşturulurken gürültünün genlik spektrumunda bazı frekanslardaki enerjilerini kaybederek verinin daha az etkilendiği düşünülmektedir. Gürültü seviyeleri arttırıldıkça bu etkilerde ortadan kalkmakta ve yankıların genlikleri, gürültü genliklerinin baskın olması nedeniyle ayırt edilememektedir. Renkli gürültülü modeller içinde gürültü seviyesi % 0.05’e kadar ayırt edilebilir sonuçlar bulunmakta, bu orandan yüksek değerler için çözüm olumsuzluklar içermektedir. Kompleks kepstrum diğer iki yönteme göre gürültüden daha fazla etkilendiği görülmektedir. Renkli gürültü oluştururken frekans ortamında bazı gürültü bantlarındaki gürültülerin yok dilmesi sonucunda kepstrum ortamında renkli gürültüler beyaz gürültülere göre daha az bozulmaya sebep olmaktadır.

2.1.3.4. Ağırlıklandırılmış Kepstrum Yöntemi

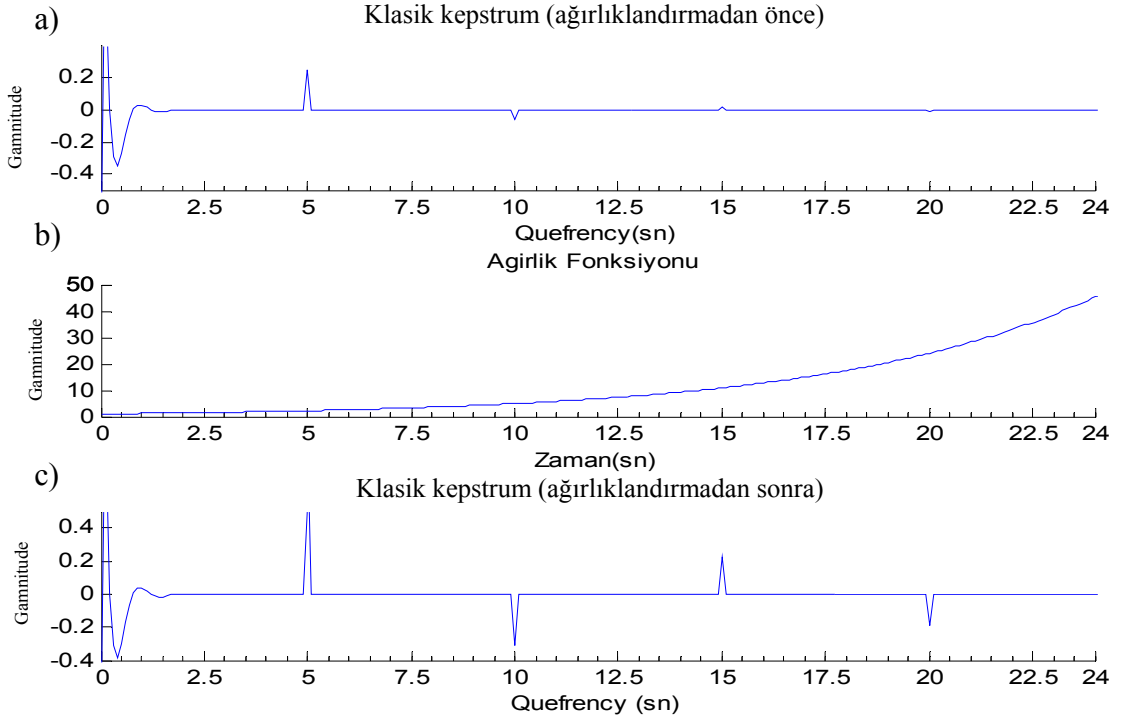
Girişime uğratılmış değişik özelliklere sahip sinyallere ait kepstrum sonuçları yukarıda verilmeye çalışılmıştır. Kepstrum işlemi sırasında alınan logaritmadan dolayı yankılara ait etkiler kaynağa göre üstel olarak bir azalmaya uğramaktadır. Üstel olarak bu azalmaya karşı kepstrum ortamında uyumlu bir üstel artan fonksiyon ile çarpılarak bu azalmanın etkileri giderilebilir ve azalan etkiler daha belirgin hale getirilmiş olur. Üstel artan bir fonksiyon;

$$x^t,$$

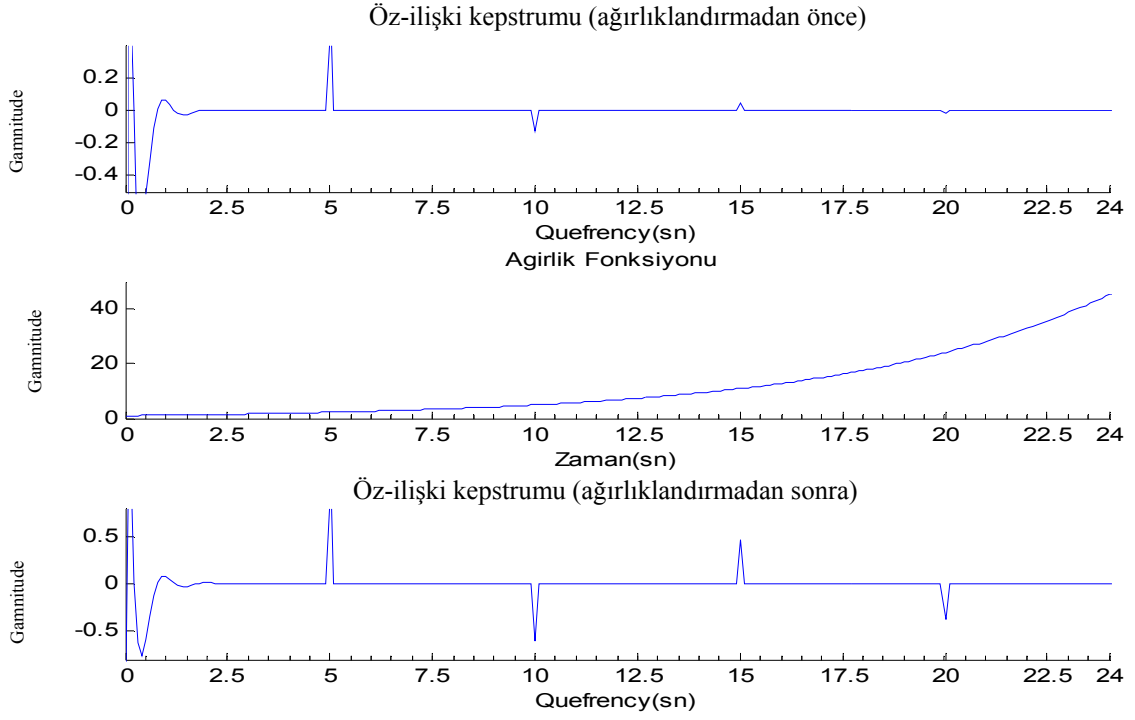
olarak verilebilir. Temel katsayısının seçimi için;

$$x = \exp(\log(0.0005) / N) \quad (2.1)$$

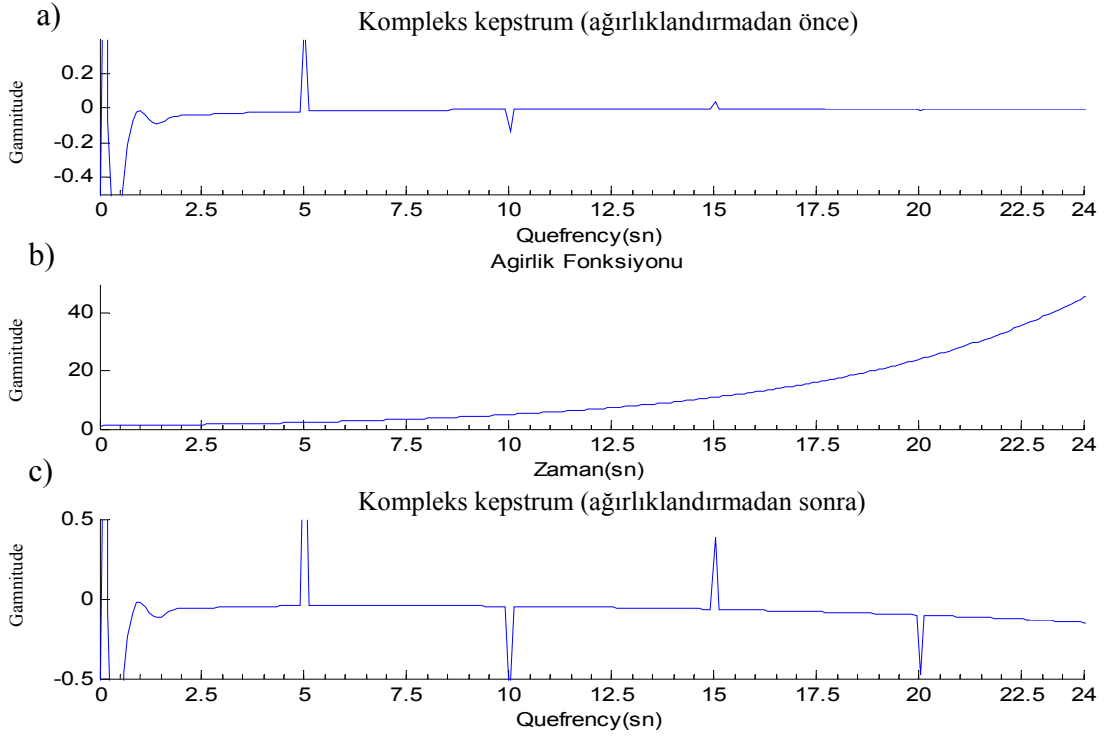
eşitliği kullanılabilir [36]. Burada x ; temel katsayısı ve t ; zaman indisi ve N ; veri sayısıdır.



Şekil 73. Klasik kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması, a) Klasik kepstrum sonucu, b) Ağırlık fonksiyonu, c) Ağırlıklandırılmış klasik kepstrum



Şekil 74. Öz-ilişki kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması



Şekil 75. Kompleks kepstrum sonucu üzerine ağırlıklandırmanın uygulanması

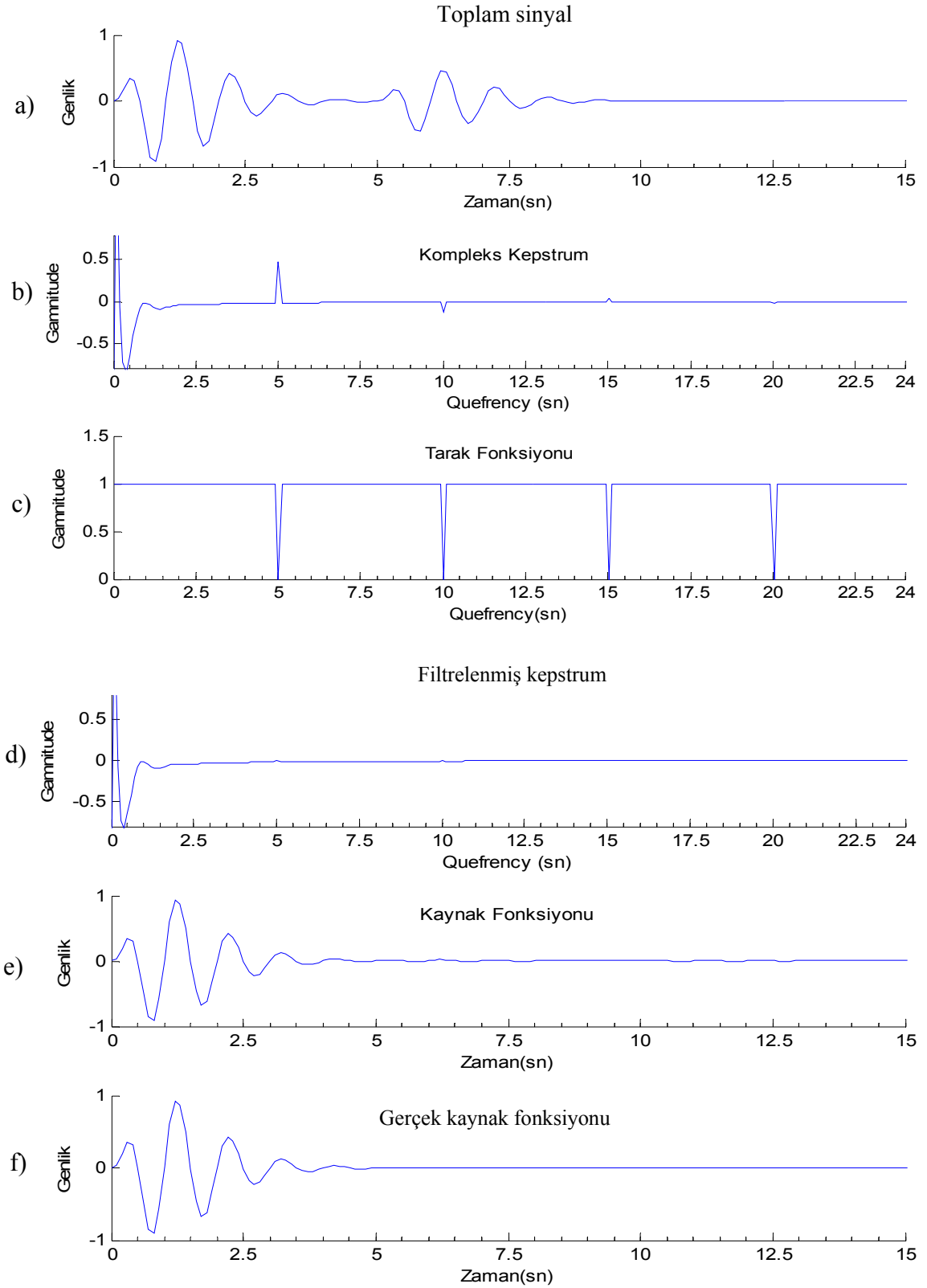
Ağırlıklandırma işlemiyle, ağırlıklandırma fonksiyonuna bağlı olarak kepstrum sonucunda yankılara ait genlikler belirli bir dereceye kadar büyütülmüştür. Ağırlıklandırma yapılırken kepstrumun negatif taraftaki bileşenleri için, ağırlık fonksiyonu da simetrik bir şekilde hazırlanarak her iki genlik için büyütme yapılabilir. Şekil 73'te klasik kepstruma ait ağırlıklandırma işlemi gösterilmiştir. Şekil 73 a'da kaynak ve bir yankısından oluşan aralarındaki gecikme zamanı farkı 5 sn olan toplam dalgaya ait klasik kepstrum sonucu gösterilmiştir. Şekil 73 b'de hesaplanan üstel fonksiyona ait (2.1) çıkan sonuç gösterilmiştir. Bu iki sonuç çarpılarak ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır(Şekil 80c). Şekil 74 ve Şekil 75'te, Şekil 73'te yapılan işlemler sırasıyla öz-ilişki fonksiyonundan hesaplanan kepstrum ve kompleks kepstrum için hesaplanan değerlerin ağırlıklandırmaları gösterilmiştir. Yapılan bu ağırlıklandırma çalışmalarında pozitif taraftaki genlikler ve ağırlık fonksiyonu gösterilmiştir. Kepstrum ortamından tekrar zaman ortamına dönüşeceği zaman ağırlıklandırma işleminden kurtulmak için ağırlıklandırılmış kepstrumu bu defa x^{-t} fonksiyonuyla çarpılarak ağırlıklandırma etkisinden kurtulunabilir.

2.1.3.5. Kaynak Fonksiyonunun Elde Edilmesi

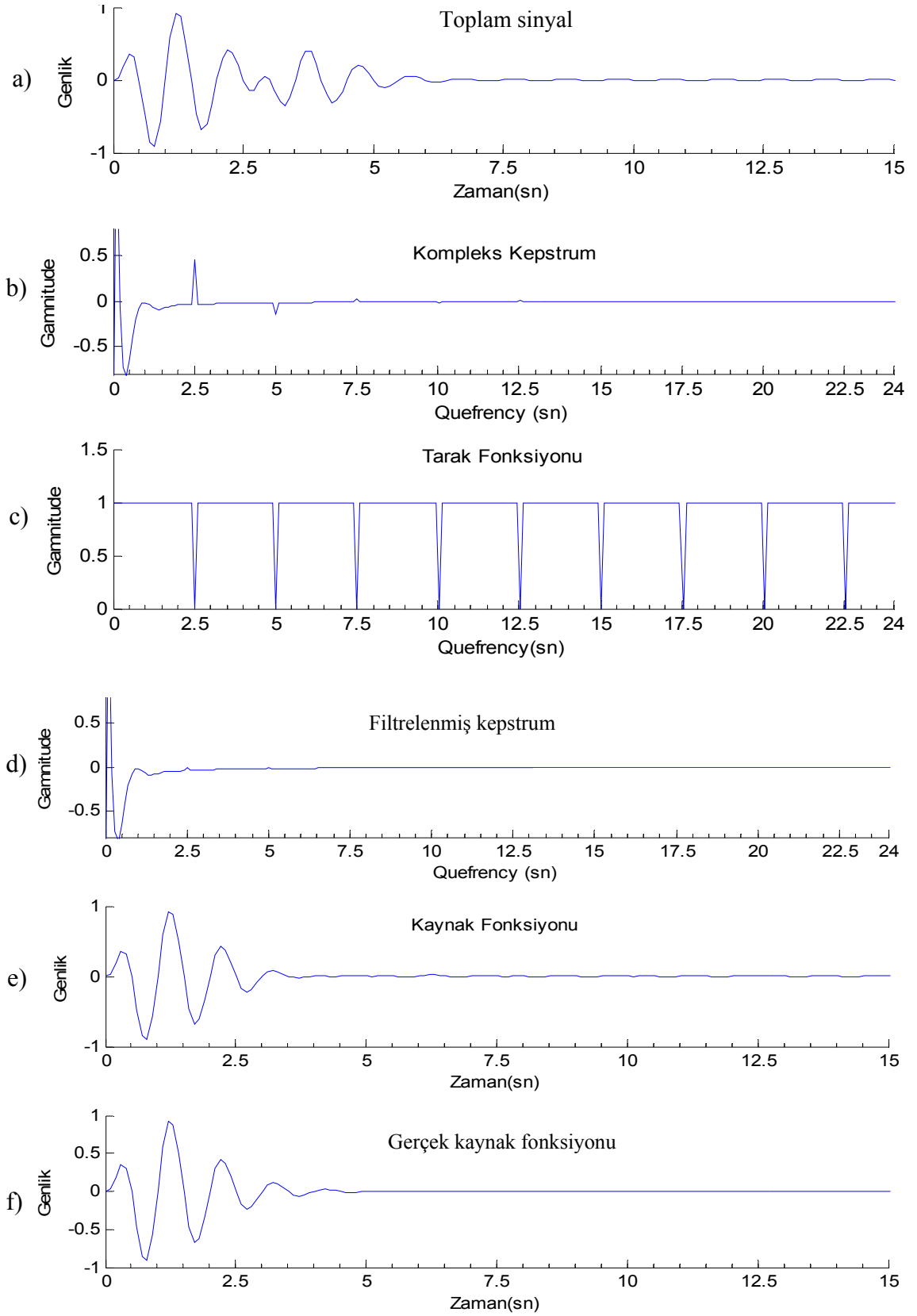
Kaynak ve yankısından oluşmuş bir sinyale ait kompleks kepstrum sonuçları üzerinde uygun filtreleme yöntemleri ile sadece kaynağa ait olan bileşeni, girişmiş sinyalden ayırt edilebilir. Klasik ve öz-ilişkiden bulunan kepstrum sonuçları için, hesaplamalar sırasında faz bilgisi yok edildiği için tekrar zaman ortamına dönüşmesi mümkün değildir. Faz bilgisinin önemli olduğu durumlarda bu durumun göz önüne alınması gereklidir. Kompleks kepstrum işlemi sonucunda kaynağa ait bilgiler kepstral orijin ($y = 0$ simetri eksenini) etrafında toplanmakta yankılar ise tüm x eksenini boyunca yayılmış bir şekilde bulunmaktadır. Kepstrum sonucunda yankıya ait ilk pikten itibaren ki kısım genellikle kaynaktan bağımsızdır. Sadece kaynağın etkisini ortaya koymak için yankıya ait ilk pikten itibaren ki bölüm uygun filtrelemeyle filtrelenmeli, daha sonra kalan kısım üzerinden ters kepstrum alınmasıyla zaman ortamında orijinal kaynağın şekline ulaşılabilir. Genel Bilgiler kısmında kaç çeşit filtre olduğu ve nasıl uygulandıkları detaylarıyla açıklanmıştır. Burada sadece yapay veriler üzerine uygulamalarını yapılacaktır.

Aşağıda ilk olarak tarak fonksiyonuyla filtreleme işlemleri gösterilmiştir. İki adet sinyalden oluşan, girişmiş dalgada yankı dalgacığı sırasıyla 5 sn, 2.5 sn, 1 sn ve 0.5 sn geciktirilerek toplanmıştır. Kaynak dalgacığı faz farkları ve gürültü içermeyen genliği $a = 1$ olan Berlage fonksiyonu, yankısı ise kaynaktan farklı olarak sadece genliği $a = 0.5$ ve kaynağa göre değişik gecikmelere sahip bir Berlage fonksiyonudur (Şekil 76 a). Tüm gecikme zamanları için işlem sırası şu şekilde oluşturulmuştur. İlk olarak girişmiş iki sinyal ve bu sinyale ait kompleks kepstrum değeri çizdirilmiştir. Daha sonra çıkan kepstrum sonucuna bağlı olarak uygun bir tarak fonksiyonu hesaplanmıştır. Tarak fonksiyonuyla yankıların neden olduğu pikler sıfırlanarak kompleks kepstrum üzerinde sadece kaynağa ait genlik değerleri bırakılmıştır. Bu işlem uygun tarak fonksiyonuyla kompleks kepstrumun bire bir çarpılmasıyla yapılmıştır. Daha sonra ters kepstrum işlemi uygulanarak zaman ortamına tekrar dönülmüştür. Zaman ortamında yalın kaynak fonksiyonunun elde edilip edilemediği incelenmiştir.

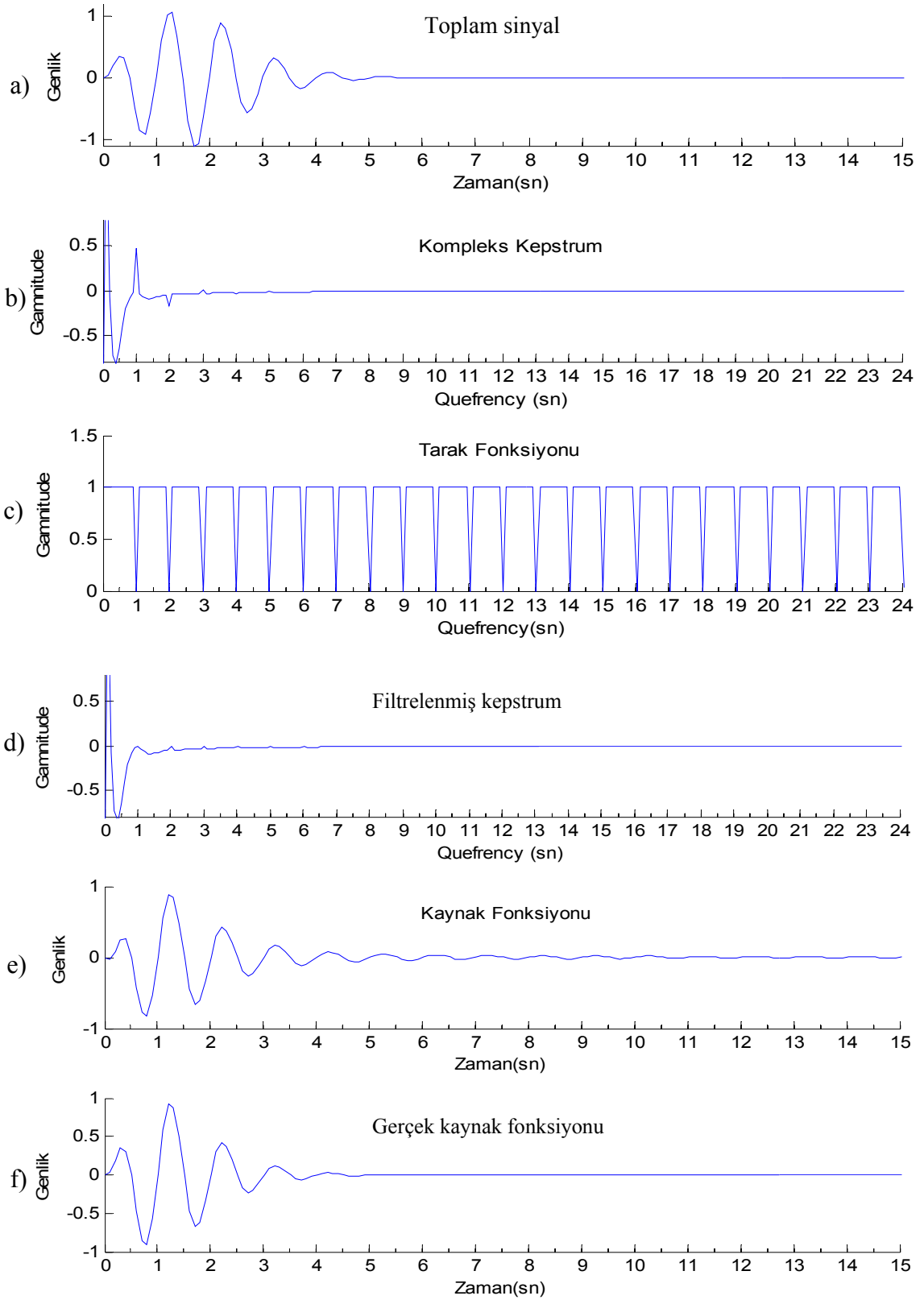
5 sn gecikme değeri için bulunan sonuçlara bakacak olursak; normalde zaman ortamında kaynak ve yankısını gözle ayırt etmek mümkündür, fakat yinede kepstrum yöntemiyle aralarındaki zaman farkı ayırt edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen kompleks kepstrum sonucunda yankılar açık olarak 5 sn ve katlarında tekrarlayarak küçülmektedir (Şekil 76 b). Bu tekrarlı pikler, yine 5 sn ve katlarında sıfır değerli, diğer yerlerde 1 genliğine sahip bir fonksiyonla (tarak fonksiyonu) çarpılmaktadır (Şekil 76 c). Bu çarpım sonucunda kompleks kepstrumda yankılara ait tekrarlı pikler sıfırlanmış olunur (Şekil 76 d). Bu sayede geriye büyük ölçüde kaynağın kepstrumu kalmıştır (Şekil 76 e). Bu kepstrum verisi tekrar zaman ortamına dönmek için ters bir işlem uygulanır. Çıkan sonuca bakıldığında gerçek kaynak fonksiyonuyla hesaplanan kaynak fonksiyonu arasında neredeyse hiçbir fark olmadığı görülmektedir (Şekil 76 f). Elde edilen sonuca göre 5 sn bir gecikme farkı için yalın sinyalin (kaynağın dalga şeklini) başarıyla ele geçirebildiği söylenebilir.



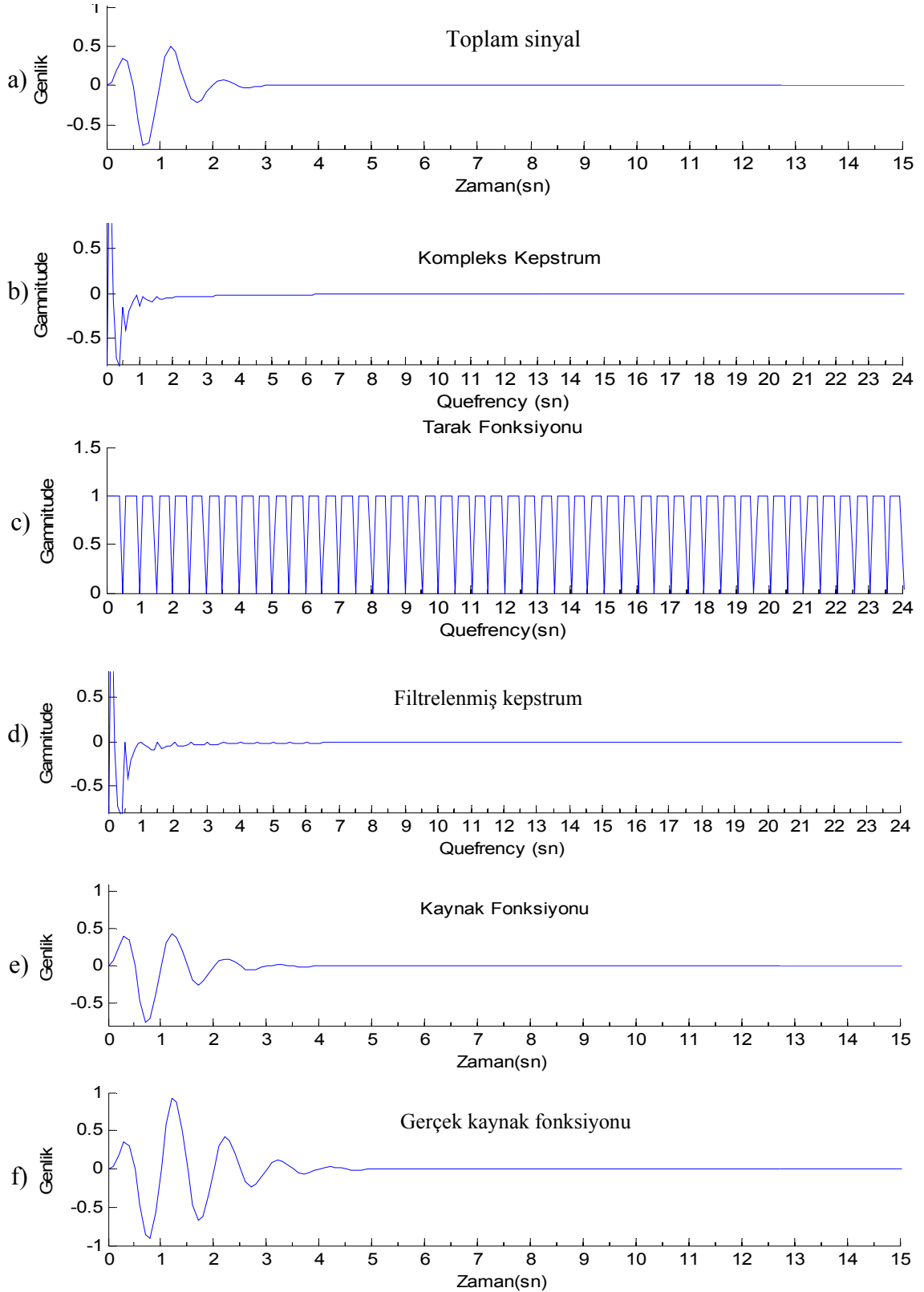
Şekil 76. a) Yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu



Şekil 77. a) Yalın sinyal ve 2.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu



Şekil 78. a) Yalın sinyal ve 1 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu

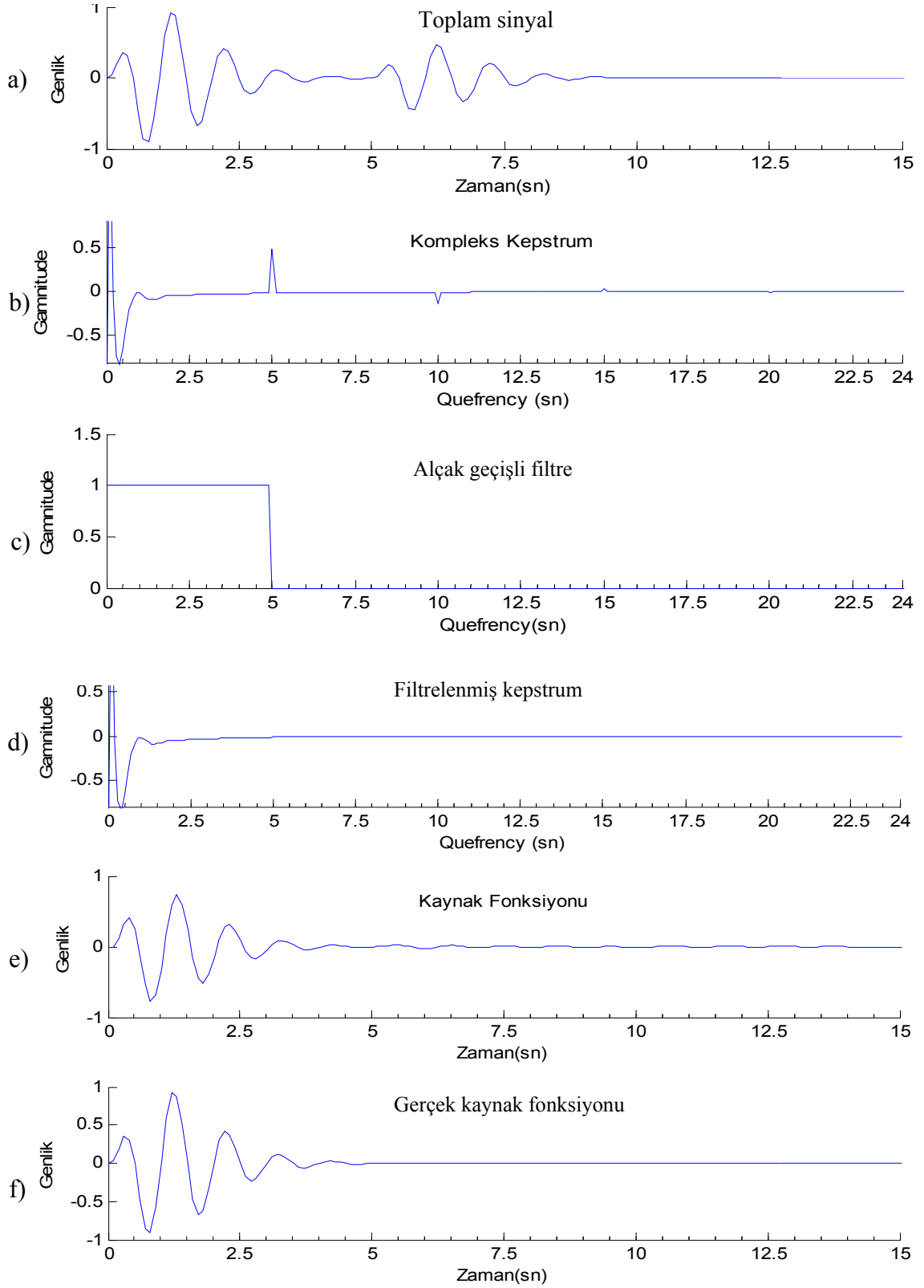


Şekil 79. a) Yalın sinyal ve 0.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal, b) kompleks kepstrumu, c) filtre fonksiyonu, d) filtrelenmiş kompleks kepstrum e) elde edilen kaynak fonksiyonu f) orjinal kaynak fonksiyonu

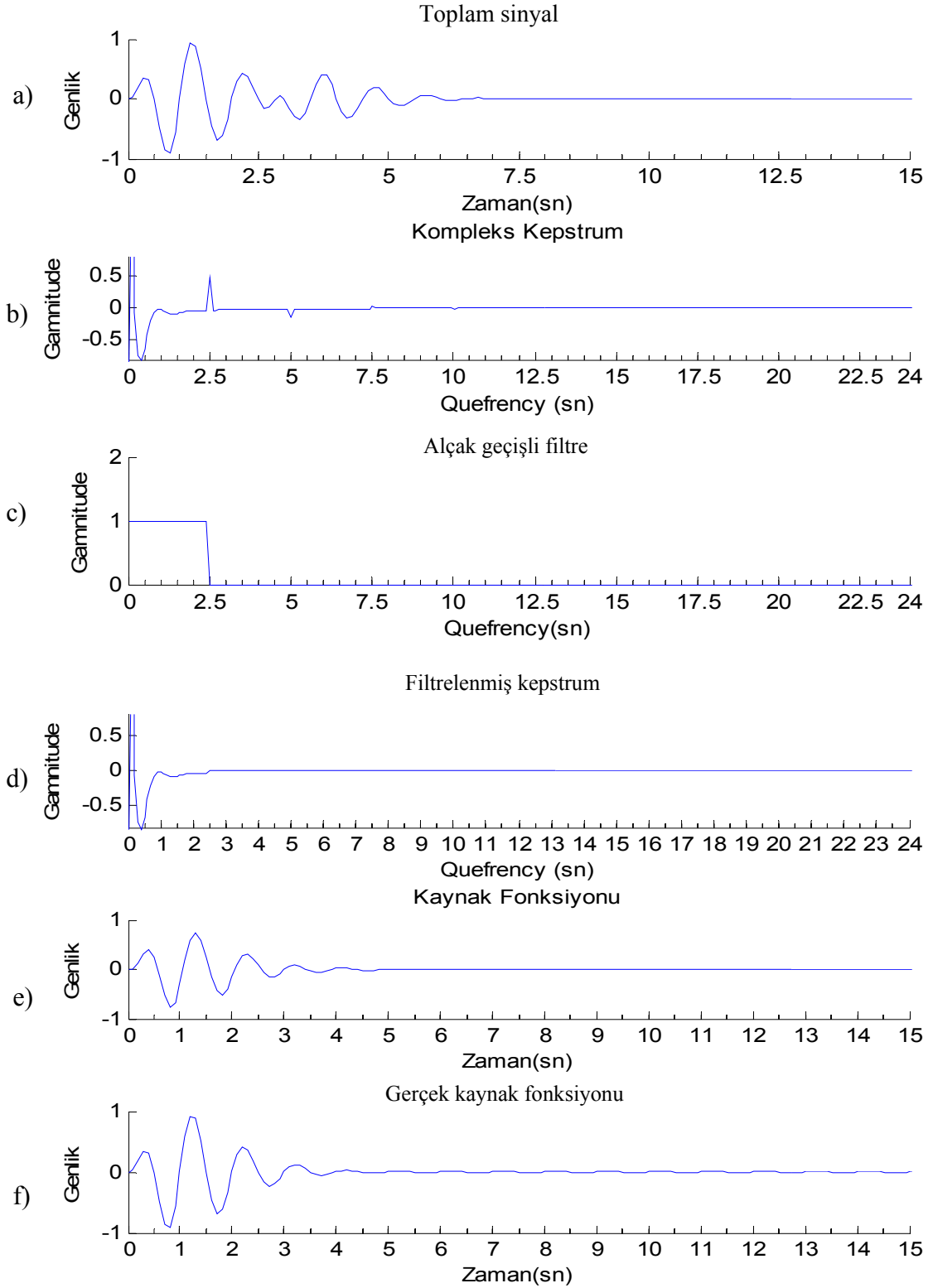
2.5 sn'lik gecikme farkı olan toplam dalga için zaman ortamında gözle ayırım yapılması zordur (Şekil 77 a). Toplam dalganın kepstrum sonuçlarından iki dalga arasındaki gecikme zamanı farkı görülebilmektedir (Şekil 77 b). Kepstrum ortamında bu farklı pikler için hazırlanan tarak fonksiyonu sayesinde yankının etkisi kaldırılmıştır (Şekil 77 c,d). Ters kepstrum işlemiyle elde edilen sonuca bakıldığında orijinal kaynak fonksiyonu büyük bir oranda yakalanmıştır (Şekil 77 e,f). Zaman ortamında iki dalganın girişiminden ötürü ikincil bileşenin tam olarak ne zaman başladığı belirlenmemektedir. Fakat kepstrum yardımıyla kaynak ve yankısı ayırt edilebildiği için girişim zamanı bulunabilmektedir.

1 sn gecikme zamanı için de yine aynı sonuçları görülmektedir (Şekil 78). İlk olarak toplam dalga oluşturulmuş (Şekil 78 a) ve bu dalganın kepstrumu bulunmuştur (Şekil 78 b). Çıkan kepstrum sonucuna göre 1 sn gecikmeli uygun bir tarak fonksiyonu hazırlanmıştır (Şekil 78 c). Tarak fonksiyonuyla kepstrum sonucunun çarpılarak sadece kaynağa ait değerler bırakılması amaçlanmıştır (Şekil 78 d). Daha sonra kaynak fonksiyonuna ait verileri içerdiği düşünülen sinyalin ters Fourier dönüşümü alınarak (Şekil 78 e) orijinal kaynak fonksiyonuyla olan benzerlikleri gözlenmiştir (Şekil 78 f). Bulunan kaynak fonksiyonuyla orijinal kaynak fonksiyonu benzer özellik gösterdiği görülmüştür.

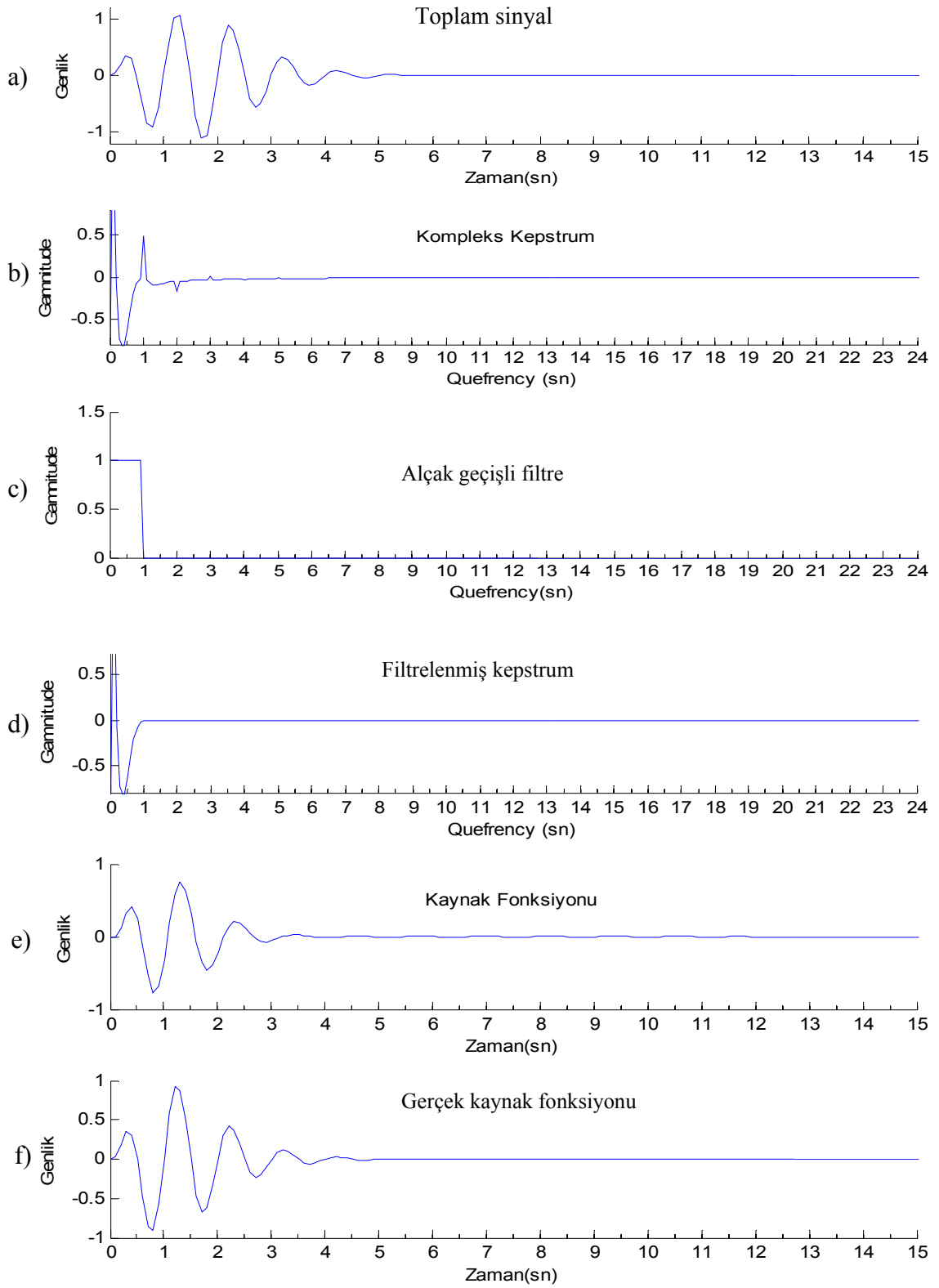
0.5 sn'lik gecikme için iki dalgacığın toplamı sonucunda oluşan toplam dalgacık büyük ölçüde değişime uğramış ve genliklerde küçülme meydana gelmiştir (Şekil 79 a). Bu girişmiş dalga için çıkan sonuçta, kaynak fonksiyonundan farklı bir dalga formu bulunmuştur (Şekil 79 f). Buradan 0.5 sn'lik gecikme değeri için çözümün çok fazla geçerli olamayacağı söylenebilir. Çıkan sonuca bakıldığında elde edilen kaynak fonksiyonu başlangıçta oluşturulan girişmiş dalgacığa benzemektedir (Şekil 79 a,e).



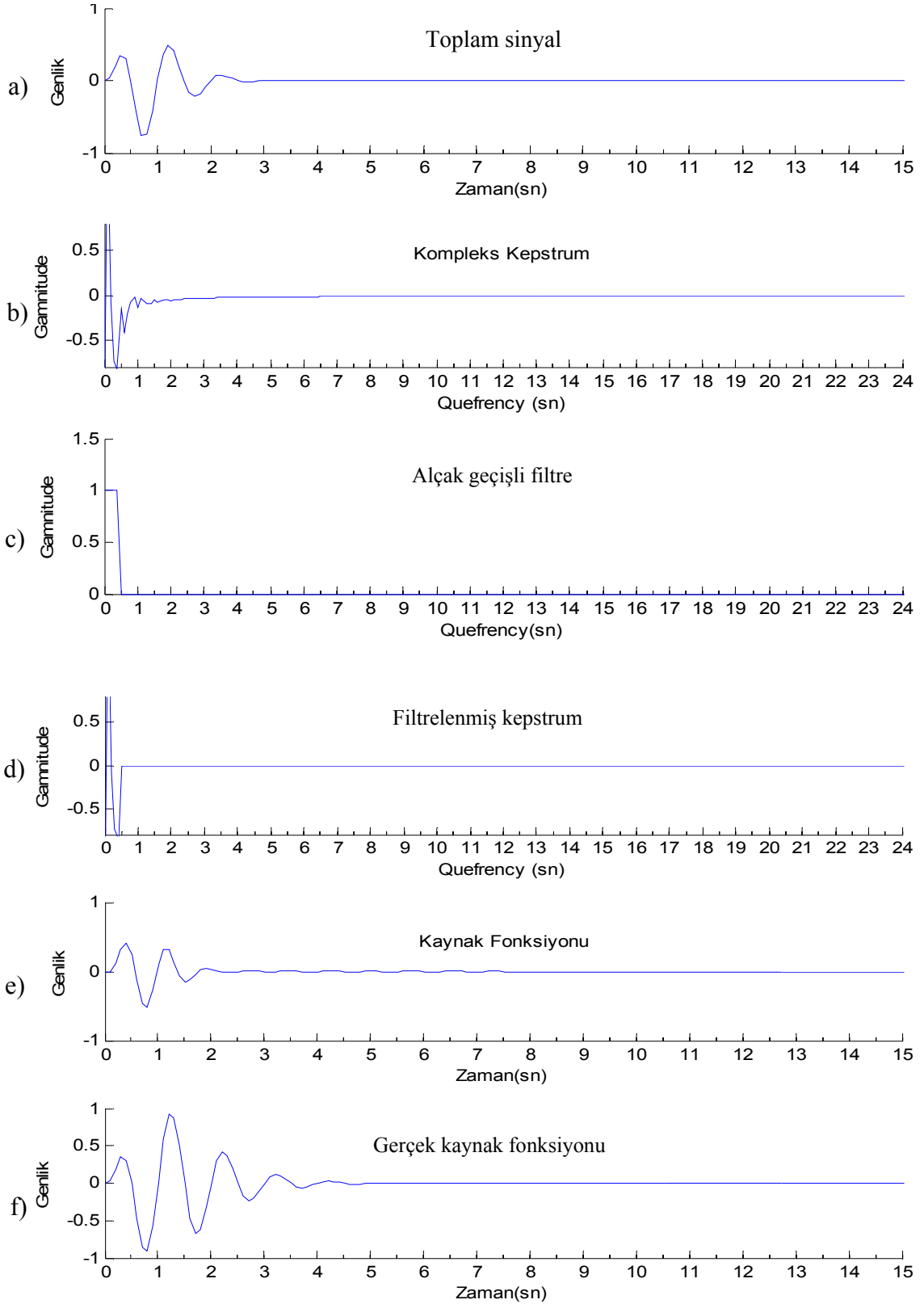
Şekil 80. Yalın sinyal ve 5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu



Şekil 81. Yalın sinyal ve 2.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreye filtrelenmiş kompleks kepstrum, elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu



Şekil 82. Yalın sinyal ve 1 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu



Şekil 83. Yalın sinyal ve 0.5 sn gecikmeli yankıya sahip toplam sinyal için alçak geçişli bir filtreyle filtrelenmiş kompleks kepstrum, elde edilen kaynak fonksiyonu ve orijinal kaynak fonksiyonu, a) Toplam dalga, b) Kompleks kepstrumu, c) Alçak geçişli filtre, d) Filtrelenmiş kepstrum, e) Kestirilen kaynak fonksiyonu, f) Gerçek kaynak fonksiyonu

Orijinal kaynağı bulmaya yönelik ikinci uygulamada filtre fonksiyonu olarak alçak geçişli bir filtre kullanılmıştır. Girişmiş dalga bileşenlerinin ayrılması için kullanılacak olan alçak geçişli filtre, tarak fonksiyonunun kullanım şekline benzerdir. Alçak geçişli filtrenin kesme frekansı keppstrum ortamında ilk yankı pikinin olduğu zamana göre ayarlanmıştır. İlk yankının genliğinden itibaren tüm bilgiler sıfırlanmıştır. Bu sıfırlanan bilgiler büyük oranda yankılara ait olmasına rağmen, bazen çok az da olsa kaynağın etkisini içerirler.

İlk olarak yine 5 sn gecikme farkı için çözüm bulunmaya çalışılmıştır (Şekil 80). Tarak fonksiyonuyla filtreleme işleminde yapılan işlemler aynen uygulanmıştır. Zaman ortamında toplam sinyal Şekil 80 a'da gösterilmiştir. Bu fonksiyonun keppstrum sonucu Şekil 80 b'dir. Çıkan yankı piklerini yok etmek için ilk pikten itibaren uygun bir alçak geçişli filtre fonksiyonu Şekil 80 c'de gösterilmektedir. Alçak geçişli filtreyle filtrelendikten sonra kaynağa ait keppstrum sonucu Şekil 80 d'de gösterilmiştir. Keppstrum ortamındaki bu veriyi zaman ortamına tekrar döndürdüğümüzde orijinal kaynak fonksiyonuyla benzerliklerine bakılmıştır (Şekil 80 e,f). Her iki fonksiyon benzer bir özellik göstermektedir. Yani orijinal kaynak fonksiyonu ile ele geçirilen kaynak fonksiyonları benzerdir ve ayırma işlemi düzgün çalışmaktadır.

2.5 sn gecikmeli çözüm içinde aynı sonuçlar gözlenmektedir (Şekil 81 a,b,c,d,e,f). Büyük ölçüde kaynak fonksiyonu bulunmuş fakat içerisinde küçük genlikler mevcuttur. Bunun sebebi alçak geçişli filtreyle ilk pikten itibaren tüm değerler sıfırlandığı için, kaynağa ait bir kısım bilgide yitirilmiştir.

1 sn'lik gecikme zamanlı çözümde farklar biraz daha artmaktadır (Şekil 82 a,b,c,d,e,f). Alçak geçişli filtreyle kaynağa ait büyük ölçüde bilgide yitirilmiştir.

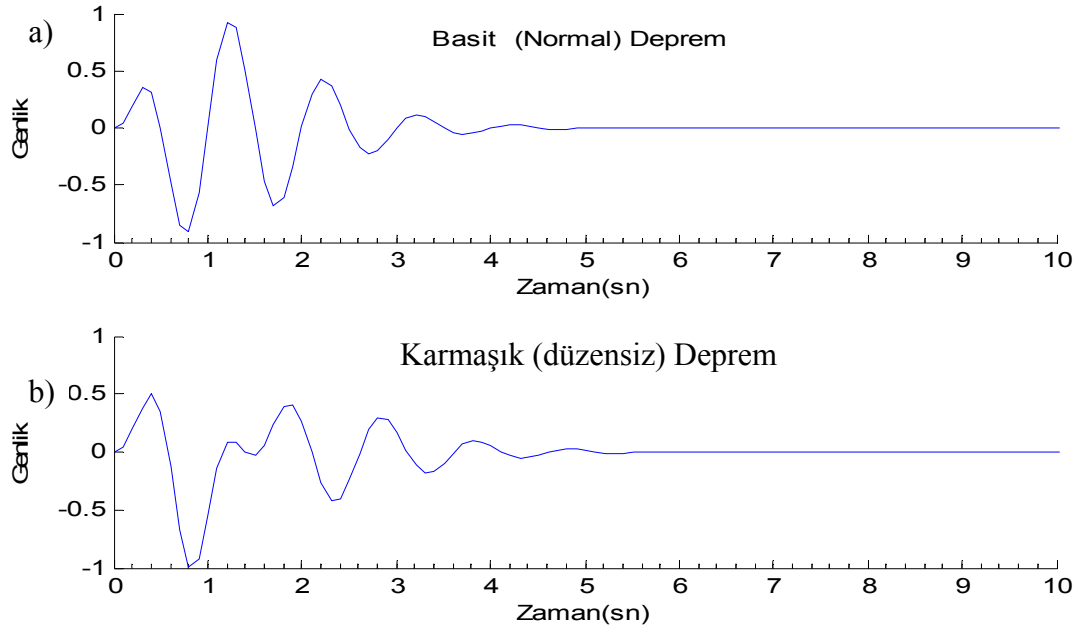
1 sn gecikme farkından daha düşük zaman değerleri için örneğin 0.5 sn'de çözüm büyük oranda farklılık göstermekte ve sonuçta gerçek kaynak fonksiyonundan farklı bir sinyal ortaya çıkmaktadır (Şekil 83 a,b,c,d,e,f). Tarak fonksiyonuyla alçak geçişli filtre arasında bir kıyaslama yapmak gerekirse; tarak fonksiyonuyla sadece yankıların bulunduğu genlik yerleri sıfırlanmış diğer kısımlara değişiklik yapılmamıştır. Fakat alçak geçişli filtre uygulanırken çok küçük gecikme zamanları için ilk yankı keppstrumundan itibaren tüm veri sıfırlandığından dolayı için kaynağa ait bir takım bilgiler de sıfırlanmaktadır. Bu yüzden kaynağa ait fazla bilgi yitirildiği için alçak geçişli filtreleme tarak fonksiyonuyla filtrelemeye göre daha başarısız sonuçlar üretmektedir.

2.1.3.6. Karmaşık Kaynaklı Deprem Modeli

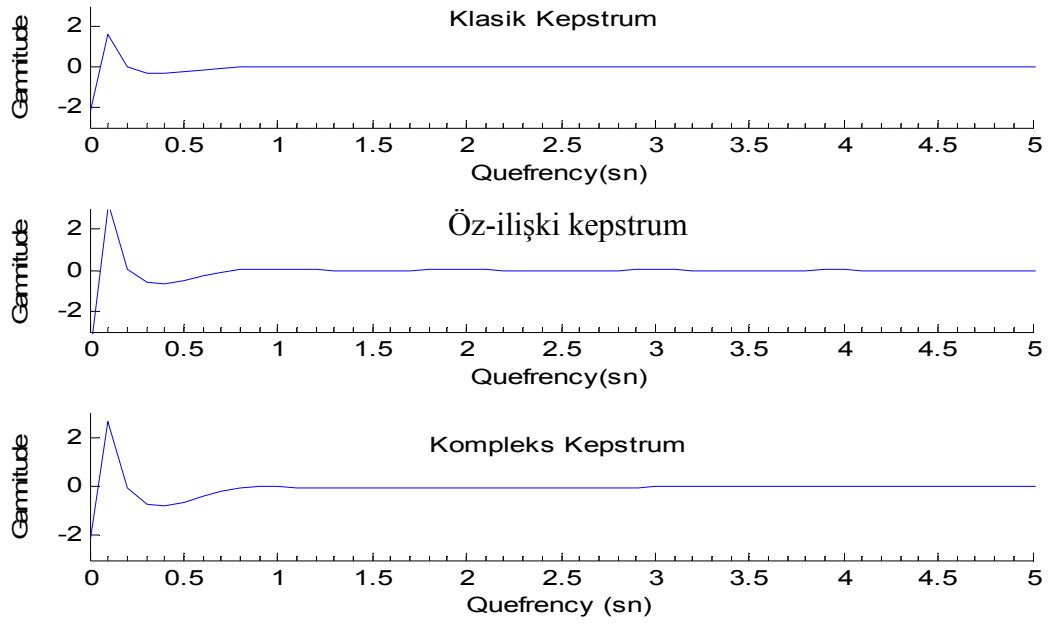
Bir depremin oluşmasını sağlayan tektonik yapılar, bazen fay yüzeylerinin pürüzlü, heterojen bir yapıya sahip olmaları nedeniyle enerjilerinin tümünü bir anda açığa çıkarmazlar. Fay yüzeyinin heterojenitesine bağlı olarak küçük zaman gecikmeleriyle birbirlerini de tetikleyerek enerjilerini açığa çıkarabilirler. Böylelikle ardı sıra birkaç deprem şeklinde tektonik olarak enerji biriktirmiş yapıların kayıtlarında farklılıklar olmaktadır. Bu şekilde oluşmuş olan bir depreme karmaşık yapılı bir deprem adı verilmektedir. Normal şekilde (yani fay yüzeyinin homojen olması ve enerjinin tek bir zamanda açığa çıkması) oluşan depremlerin zaman-uzaklık grafikleri ile karmaşık yapılı depremlerin zaman-uzaklık grafiklerinde farklılıklar görülmektedir.

Zaman-uzaklık grafiklerinde gözlenen bu farklılıklar kepstrum ortamında da ayırt edilebilirse karmaşık ve normal depremler için bir ayıraç olarak kullanılabilir. Karmaşık yapılı bir deprem çok küçük zaman farklarıyla enerjilerini açığa çıkartıyorsa yapacağımız model, sinyallerimizde çok küçük zaman farklarıyla üst üste toplanarak oluşturulabilir. Yine bu modeller için Berlage fonksiyonundan yararlanılmıştır. Üst üste 4 adet Berlage fonksiyonu sırasıyla 0.0 sn 0.2 sn 0.5 sn ve 0.7 sn farklarla girştirilmiştir. Bunun tek yankısı da, toplam dalganın genliği %50 küçültülerek ve toplam dalgaya göre değişik gecikme zamanları için oluşturulduktan sonra her iki karmaşık yapılı dalgacık toplamından kepstrum için hazır bir model verisi haline getirilecektir.

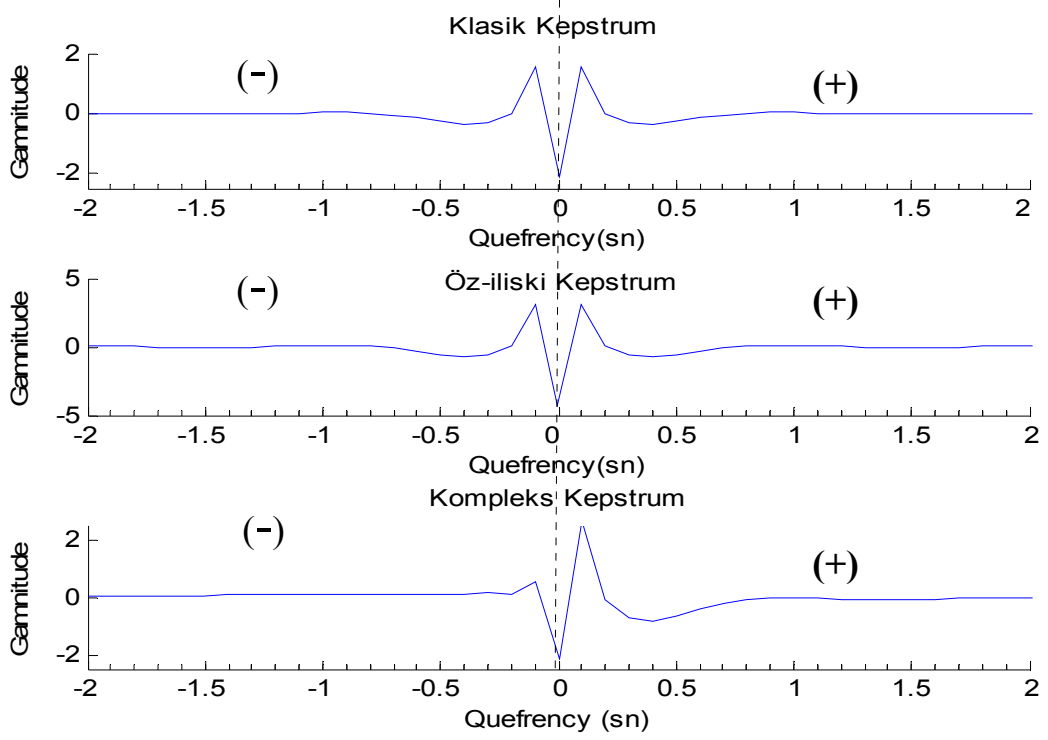
Öncelikli olarak basit ve karmaşık kaynak modelleri kendi aralarında incelenmiştir. Yankıları olmadan sadece kaynaktan ibaret dalgacıklar için kepstrum sonuçları incelendiğinde gözle görülebilir bir fark vardır. Kaynak modelinin karmaşıklığına bağlı olarak bu farklar daha belirgindir. Şekil 84 a'da basit deprem modeli, Şekil 84 b'de ise karmaşık deprem modeli gösterilmiştir. Karmaşık deprem modelinde girişimden ötürü basit kaynak modeline göre bir fark açıkça ortadadır. Şekil 84 a'daki basit deprem modeline ait üç farklı kepstrum sonuçları Şekil 85'te gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara göre kepstrumda düzgün bir dağılım gözlenmiştir. Grafik üzerinde hiçbir aykırılık (pertürbe) bulunmamaktadır. Şekil 86'da ise basit depremin pozitif ve negatif quefrensy'leri için kepstrum sonuçları gösterilmiştir. Her iki taraf için gösterildiğinde değişim daha iyi ortaya çıkmakta ve düzgünlük daha iyi gözlenmektedir.



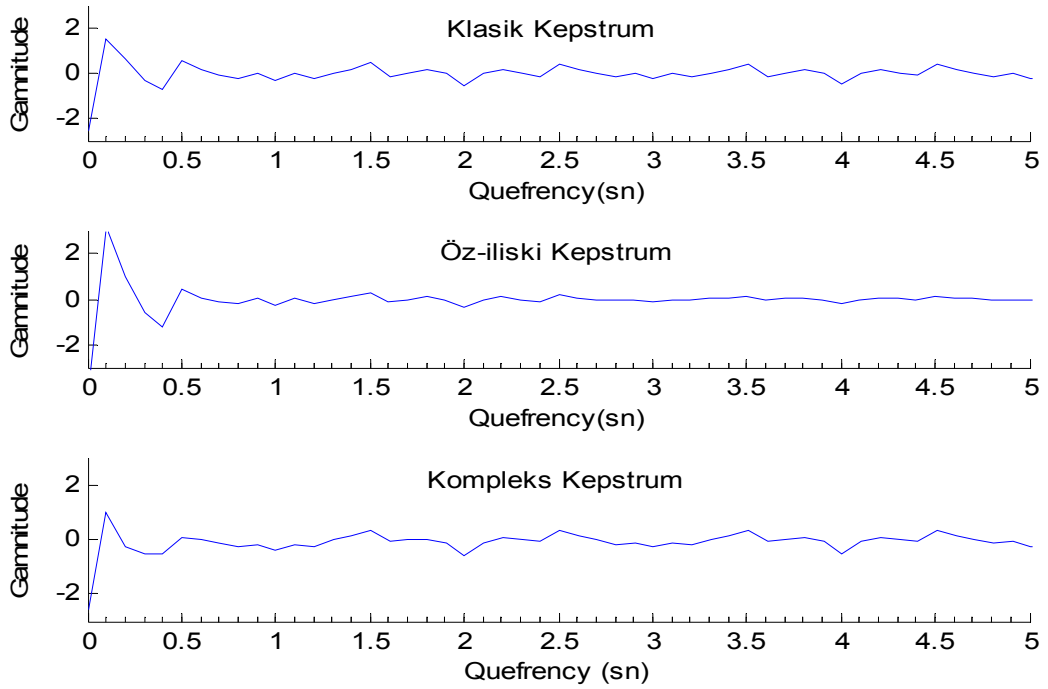
Şekil 84. a) Basit deprem, b) Karmaşık deprem kaynak fonksiyonları



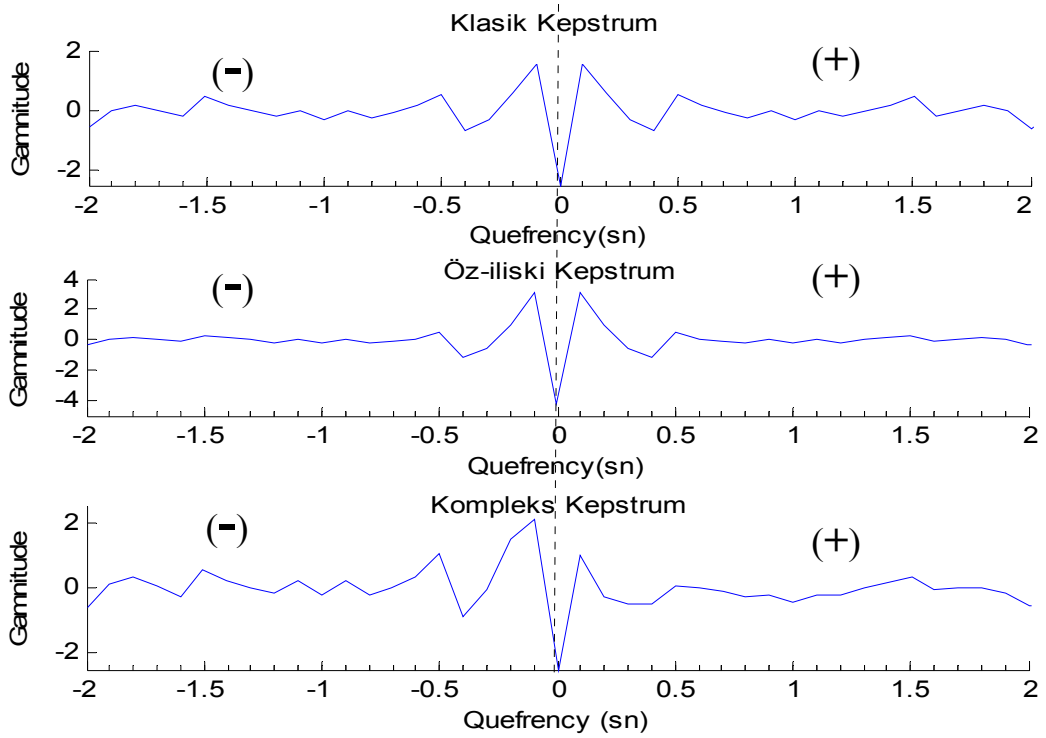
Şekil 85. Basit depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif quefrensy)



Şekil 86. Basit bir depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif quefrensy)



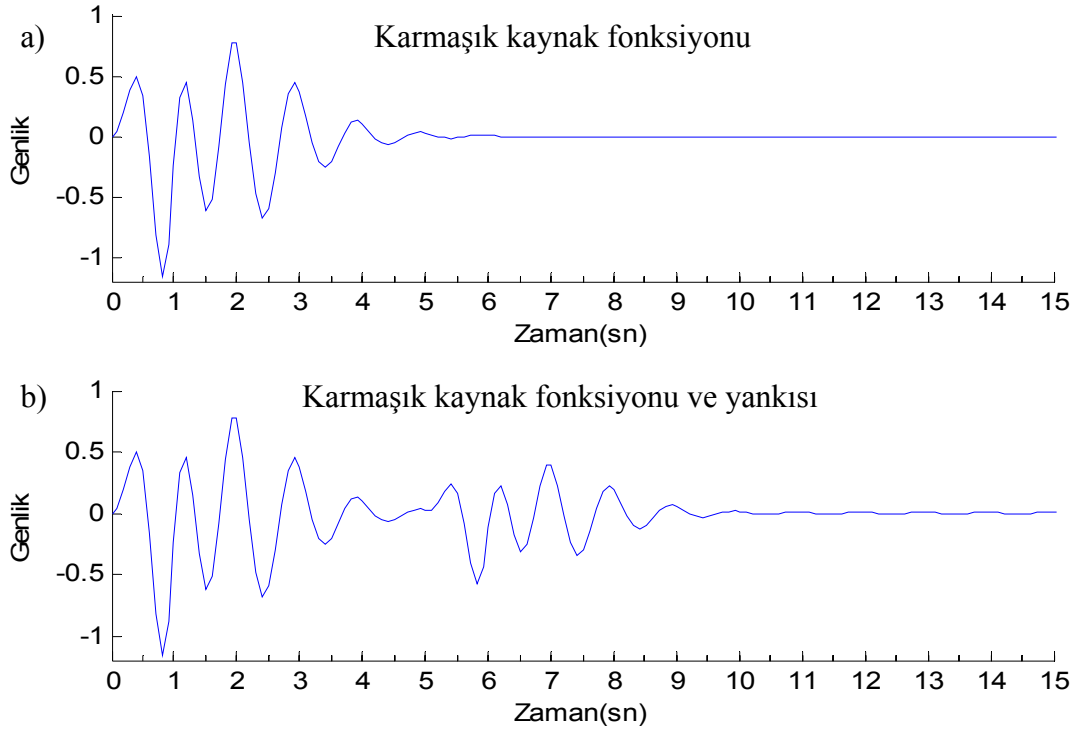
Şekil 87. Karmaşık depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif quefrensy)



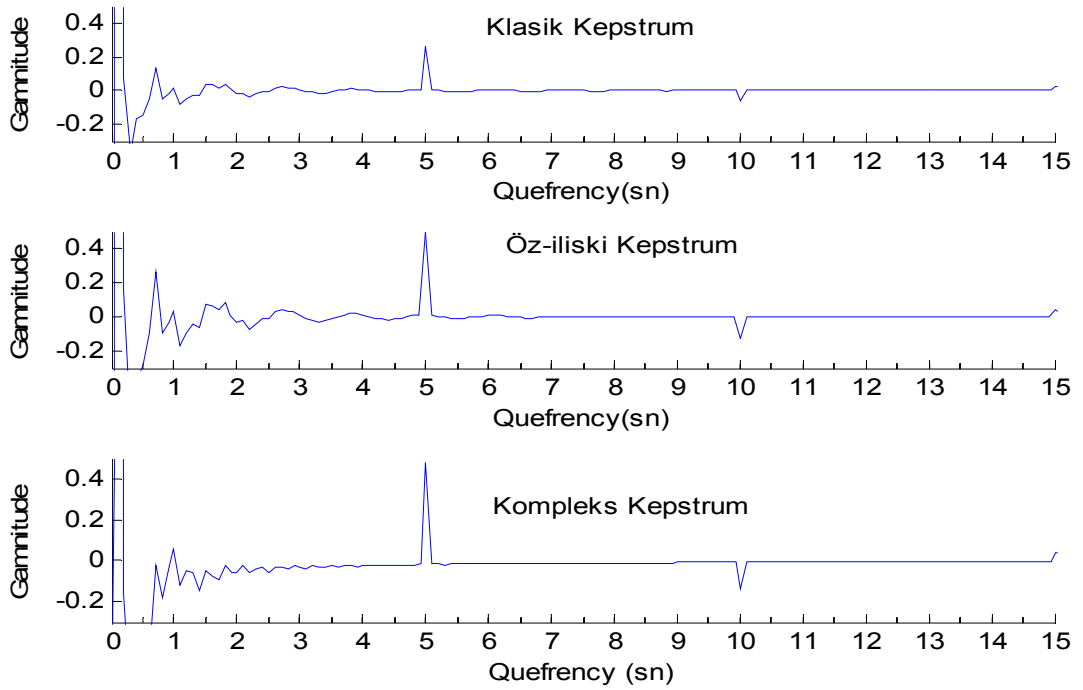
Şekil 88. Karmaşık depreme ait Klasik, Öz-ilişki, Kompleks Kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif taraf)

Şekil 87’de ise karmaşık kaynak fonksiyonuna sahip deprem modeli (Şekil 84 b) için kepstrum sonuçları gösterilmiştir. Şekillerde sadece kepstrum sonucunun pozitif kısmı gösterilmektedir. Sadece pozitif quefrequency’lerde bile grafik üzerindeki küçük dalgalanmalar (pertürbe) görülebilir (Şekil 87). Karmaşık yapının etkisini daha iyi görebilmek için negatif ve pozitif quefrequency’lere göre çizdirilirse fark daha iyi görülecektir (Şekil 88). Bu durumda basit kaynak modelinden bulunan sonuç ile karmaşık kaynak modelinden bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında fark açık bir şekilde göze çarpmaktadır. Basit deprem için elde edilen sonuçlarda düzgün ve yumuşak geçişler varken karmaşık deprem modeli için bulunan sonuçlarda her quefrequency’de küçük genlikler gözükmemektedir. Yapay olarak oluşturulan karmaşık deprem dört adet bileşenden meydana gelmektedir. Fakat çıkan sonuçlardan bunların ayrımını yapmak oldukça zordur. Sadece burada basit ile karmaşık deprem modeli arasında bir farkın olduğu fakat karmaşık deprem modeli için model bileşenleri hakkında fazla bilgiye ulaşılamadığı yorumu yapılabilir.

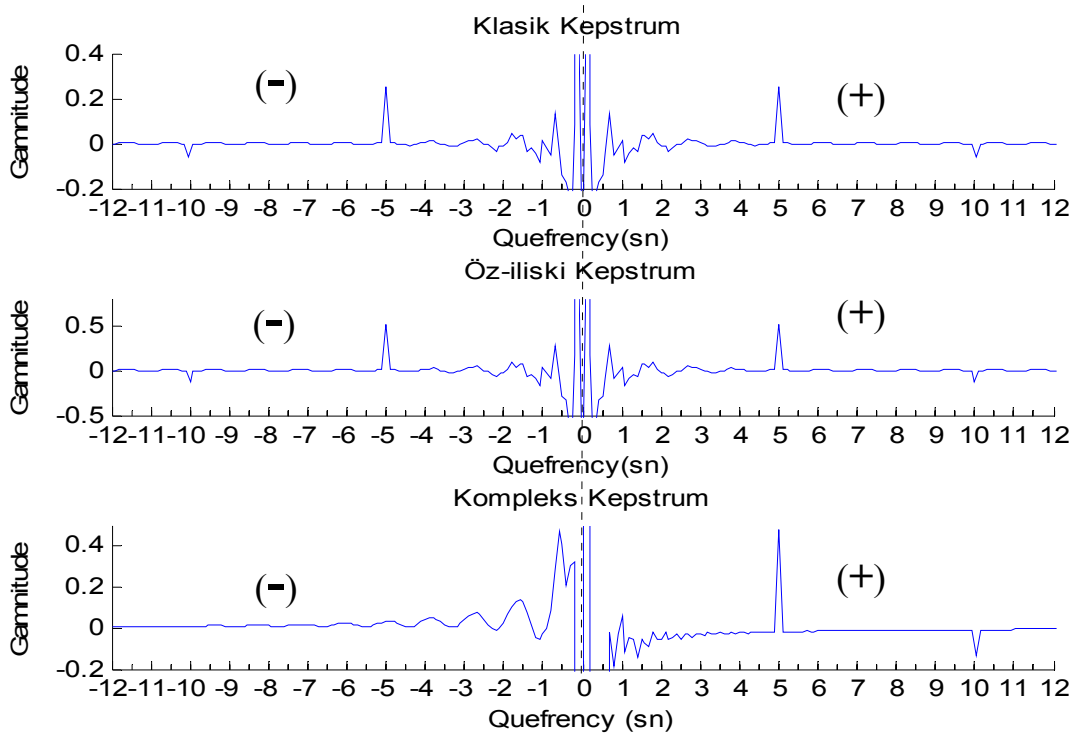
İkinci yapılacak uygulama için tekrar karmaşık deprem modelinden yararlanarak bu modelin bir de 5 sn gecikmeli yankısı oluşturularak kepstrumu hesaplanmıştır.



Şekil 89. a) Karmaşık kaynak fonksiyonu, b) Karmaşık kaynak fonksiyonu ve onun 5 sn gecikmeli yankısı



Şekil 90. Karmaşık kaynak fonksiyonu ve yankısına ait kepstrum sonuçları (pozitif quefency)



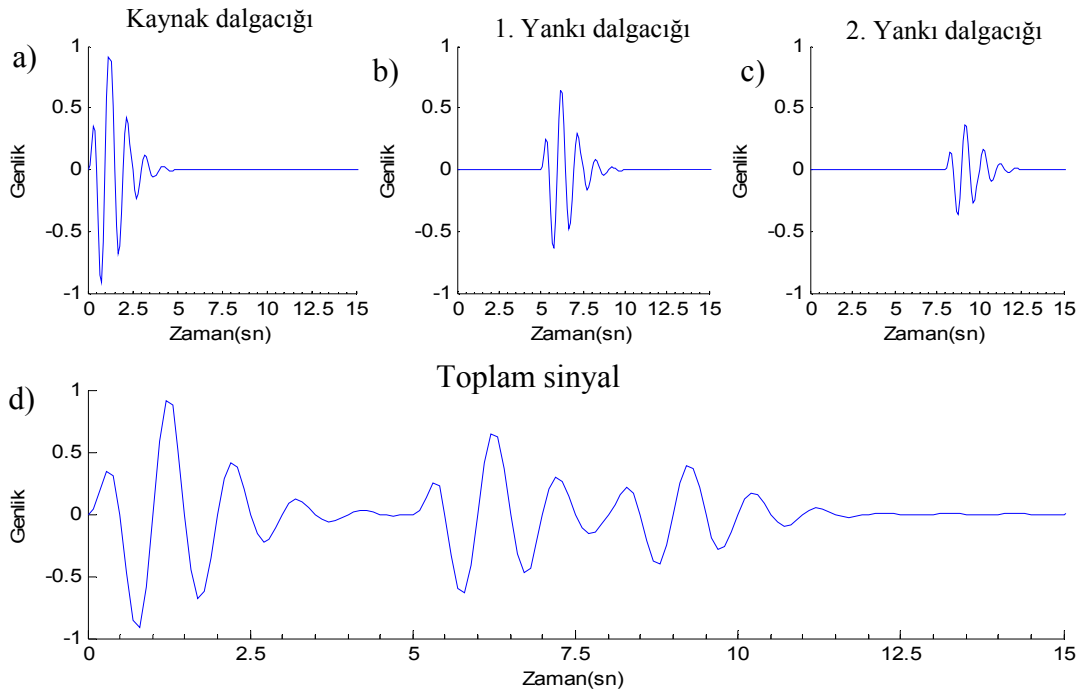
Şekil 91. Karmaşık kaynak fonksiyonu ve yankısına ait kepstrum sonuçları (pozitif ve negatif quefrensy)

Karmaşık yapılı depremi oluşturmada kullanılan Berlage fonksiyonu yukarıda açıklandığı gibi oluşturulmuştur. İlk olarak sıfır sn gecikmeli temel Berlage fonksiyonu üzerine 0.2 sn, 0.6 sn, 0.7 sn gecikmeli üç adet Berlage fonksiyonu girştirilmiştir (Şekil 89 a). Bu şekilde oluşturulan girişmiş fonksiyonlar karmaşık yapılı bir kaynağı temsil edecektir. Daha sonra bunun yankısı için karmaşık kaynağın genliği %50 oranında küçültülecek ve kaynağa göre 5 sn bir fark ile geciktirilerek karmaşık kaynağa eklenecektir. Bu şekilde oluşturulan bir model Şekil 89 b'de gösterilmiştir. Şekil 90'da ise oluşturulan modele ait üç farklı kepstrum sonucu gösterilmiştir. Şekil 91'de ise pozitif ve negatif quefrensydeki genlik değerlerinin herikiside verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan basit kaynak modeline benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Kaynağın karmaşık olması, sadece kepstrum ortamında ilk yankıya kadar gürültü şeklinde küçük genlikler oluşturmaktadır. İster karmaşık ister basit kaynaklı model olsun sonuçta kaynak ve yankısı benzer bir dalga formu gösteriyorsa bulunacak sonuçlarda tatmin edici olacaktır.

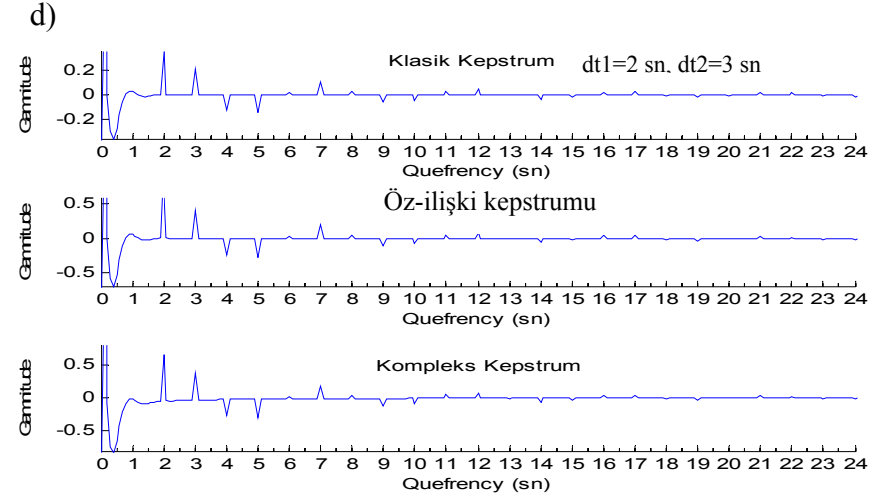
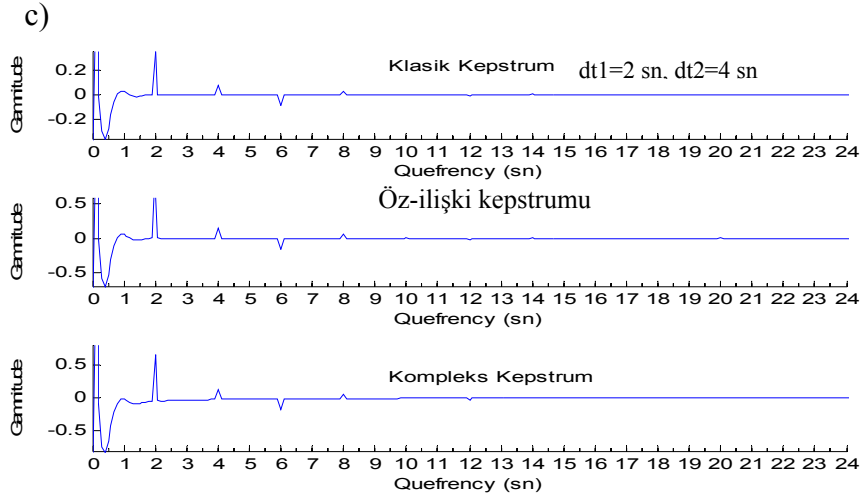
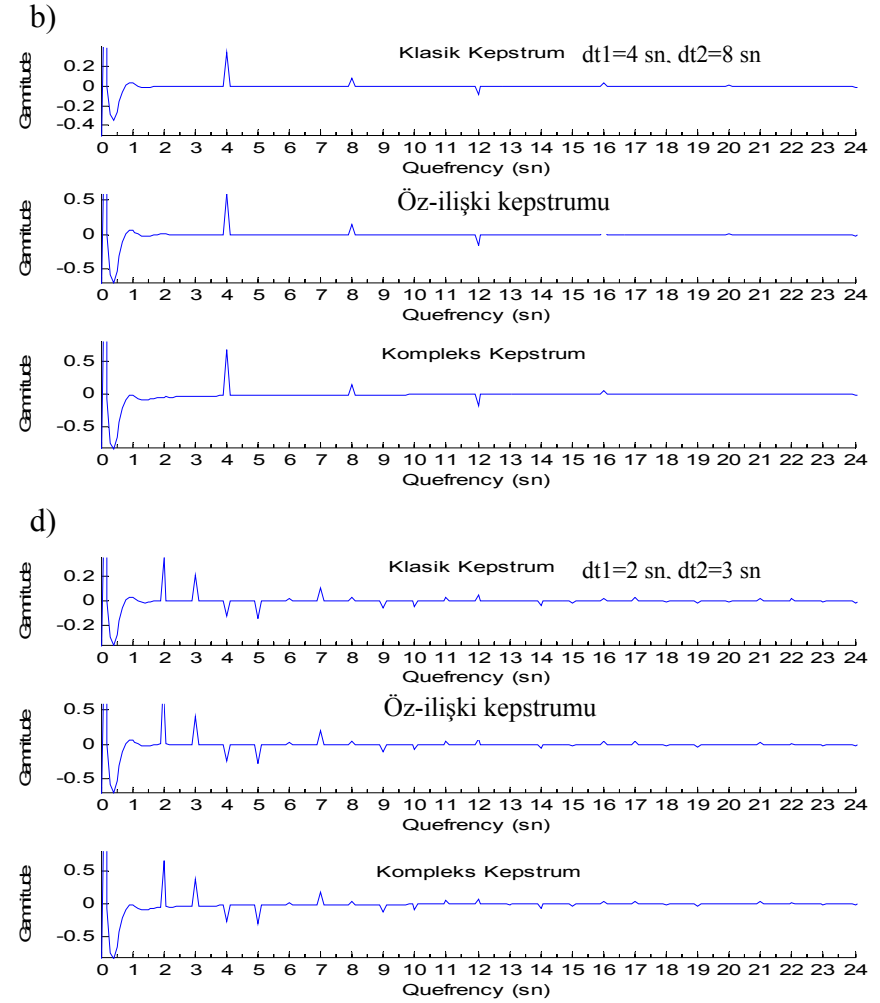
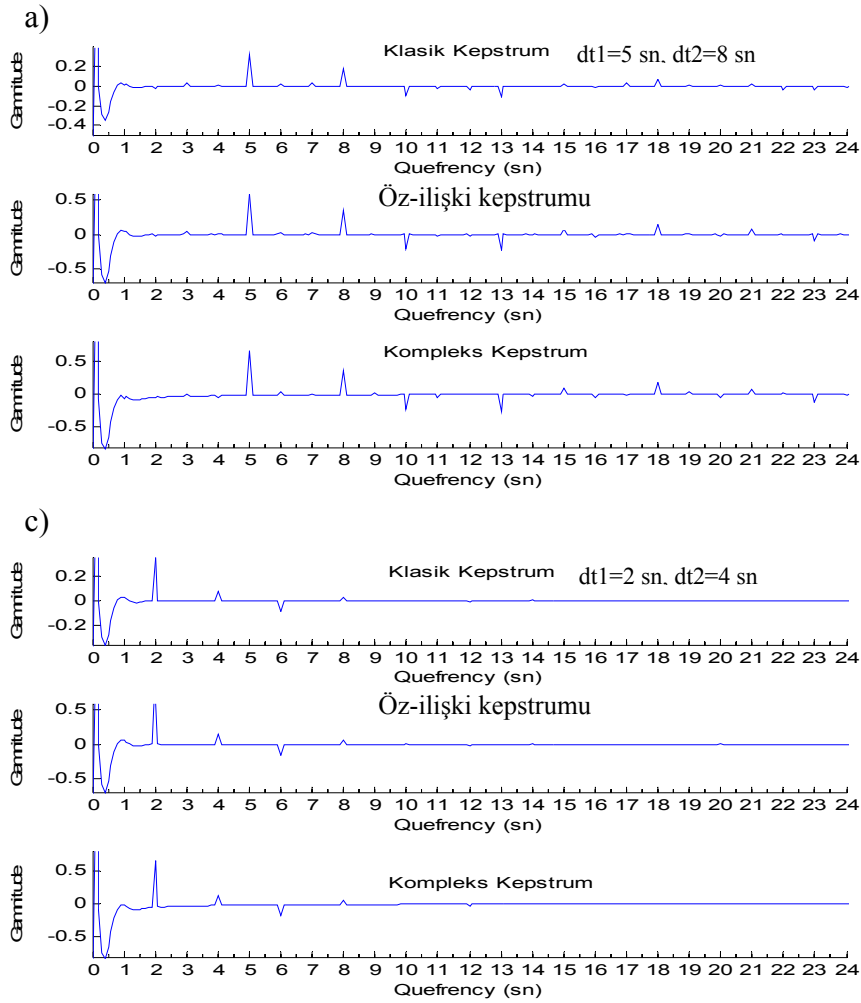
2.1.3.7. Üç Bileşenli Dalga Formu İçin Kepstrum Sonuçları

2.1.3.7.1. Farklı Gecikme Zamanları İçin

Burada yapılan uygulamada bir kaynak ve kaynağa iki tane yankı eklenerek üç bileşenli bir dalga formu oluşturulmuştur. Yapılan işlemler iki bileşenli dalga formununkiyle aynıdır. Üç adet sinyalden oluşan dalganın oluşturulması sırasında kaynak dalgacığı yine iki adet sinyalin giriştirilmesi çalışmasında olduğu gibi alınmıştır. Yankılar ise, kaynağa en yakın olanın genliği $a = 0.7$ diğerinin genliği $a = 0.4$ olarak alınmıştır. Aralarındaki gecikme zamanları ise yapılan çalışmaya bağlı olarak değişmektedir. Kaynak ve yankılara bu değişikliklerden başka hiçbir etki yapılmamıştır. Bu şekilde oluşturulan kaynak ve yankılar Şekil 92'de gösterilmiştir. Şekil 92 a'da kaynak olarak kullanılan Berlage fonksiyonu, bunun 5 sn'ye gecikmeli ilk yankısı Şekil 92 b ve 8 sn'ye gecikmeli ikinci yankısı ise Şekil 92 c'de gösterilmiştir. Bu üç adet dalganın toplam dalga halinde Şekil 92 d'de görülmektedir.



Şekil 92. Üç adet sinyalden oluşturulmuş girişmiş bir dalganın oluşturulması, a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankısı, c) 2. yankısı, d) Giriştirilmiş toplam sinyal

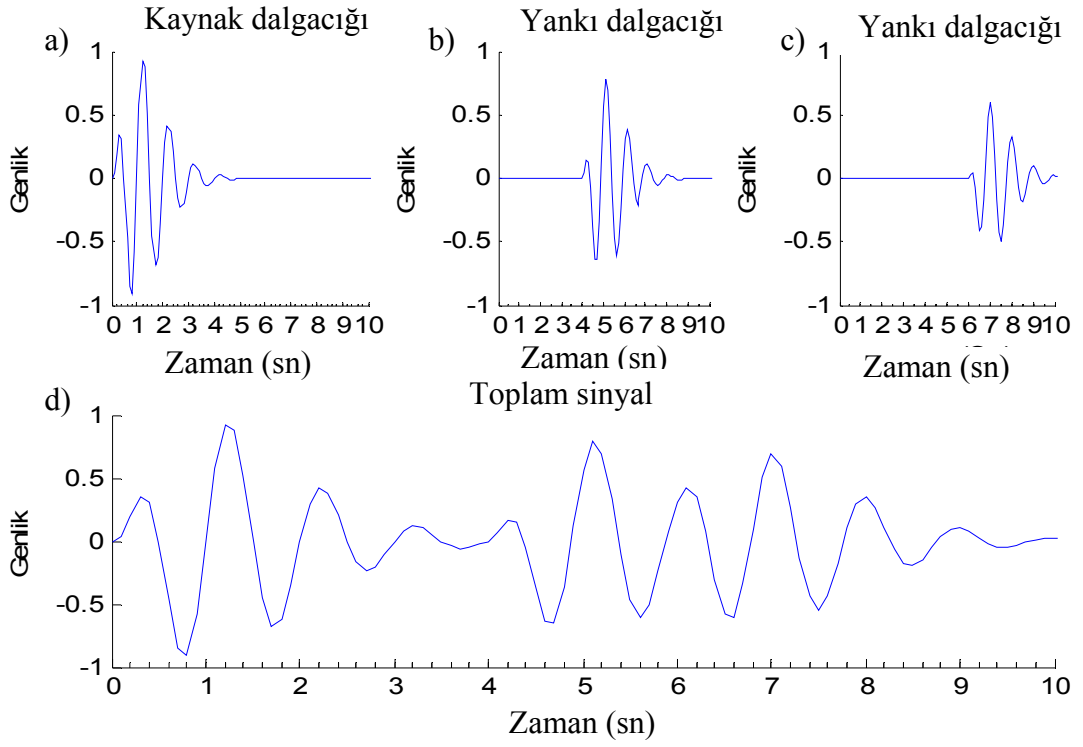


Şekil 93. Farklı gecikme zamanlarına sahip kaynak ve iki yankısından oluşan toplam sinyallere ait kepstrum sonuçları, a) $dt1=5$ sn, $dt2=8$ sn, b) $dt1=4$ sn, $dt2=8$ sn, c) $dt1=2$ sn, $dt2=4$ sn, d) $dt1=2$ sn, $dt2=3$ sn ($dt1$ = kaynak ile 1. yankı arasındaki zaman farkı, $dt2$ = kaynak ile 2. yankısı arasındaki fark)

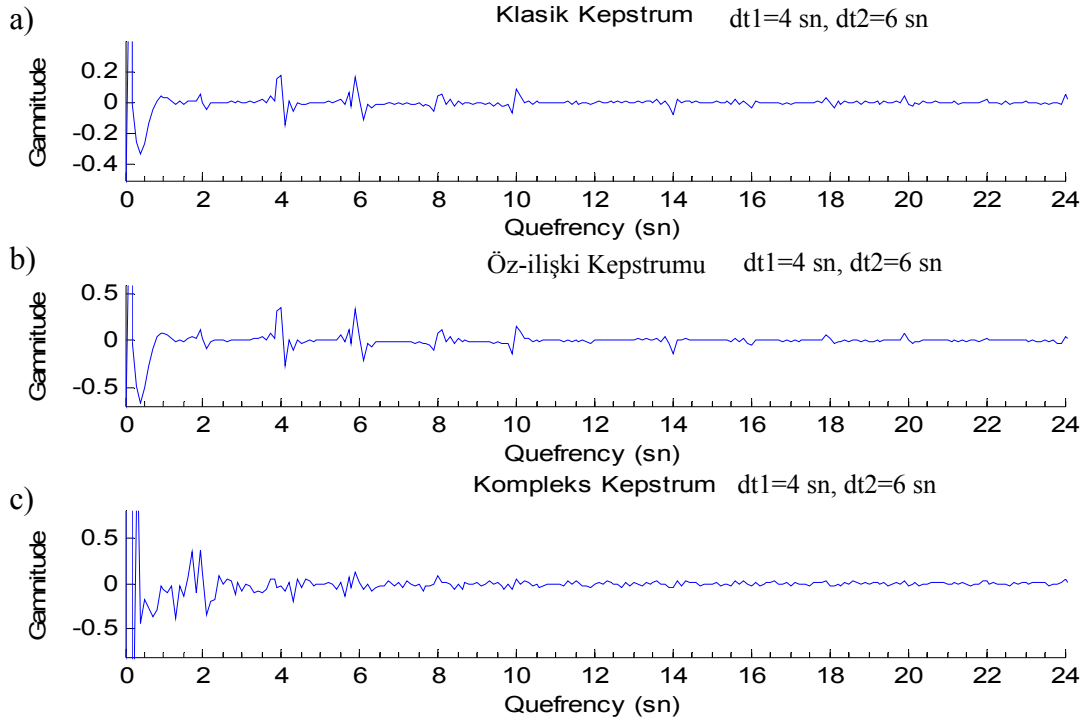
İlk olarak Şekil 93 a'daki grafiğe bakıldığında yankılar kaynağa göre 5 ve 8 sn gecikmeli olarak girştirilmiştir. Çıkan sonuçlarda 5 ve 8 sn'de hakim pikler görülmektedir. Bunların dışında küçük genlikli piklerin varlığı da göze çarpmaktadır. Bunların sebebi hakkında şöyle bir açıklama yapılabilir. İlk yankının genliğinden önce yani 5 sn'lik pikten önceki küçük genlikler 5 sn ve 8 sn farkından ileri gelmektedir. Örneğin 3 sn'deki pik bu iki yankının farkından, 2 sn'deki pik ise oluşacak olan 3 sn'deki pik ile yine ilk yankının geldiği 5 sn'deki pikin farkından ileri gelmektedir. 8 sn'den sonraki pikler ise bu iki yankı zamanı arasındaki farkların toplamından ileri gelmektedir. Yine 13 sn'deki pik bu iki yankı zamanının toplanmasıyla 10 sn'deki pik ise ilk yankının kaynakla olan farkının ikinci kez kendisiyle toplanması şeklinde oluşmaktadır. Kısaca hakim piklerin dışındaki yalancı pikler bu hakim piklerin farklarından veya toplamlarının bu pik zamanlarına eklenmeleriyle oluşmaktadır. Şekil 93 b'de ise yankılar 4 sn ve 8 sn gecikmeli olarak oluşturulmuştur. Çıkan kepstrum sonucunda 4 ve 8 sn birbirlerinin tam katı olduğundan aralarındaki fark veya toplamlarda da gerçek kepstrum yerlerinde pikler vermektedirler. Bu durumda kepstrum üzerinde hiç bir yalancı genlik gözlenmeyecektir. Ayrıca tekrarlı yankılar birbirlerinin genlikleri üzerine geldiği için genlik değerlerinde negatif pozitif polariteye bağlı olarak küçülme ya da büyüme gözlenebilir. Şekil 93 c'deki 2 sn ve 4 sn'ye gecikme zamanı farkı olan kepstrum sonuçlarında da Şekil 93 c'deki aynı durumları görmek mümkündür. Şekil 93 d'deki 2 ve 3 sn'li gecikmeli dalga formunun kepstrum sonuçları ise Şekil 93 a'da açıklanan yankılar arasındaki gecikme zamanlarının farklarından ve toplamlarından kaynaklanan yalancı pik değerleri göstermiştir.

2.1.3.7.2. Farklı Faz Gecikmelerine Sahip İki Yankılı Toplam Sinyal

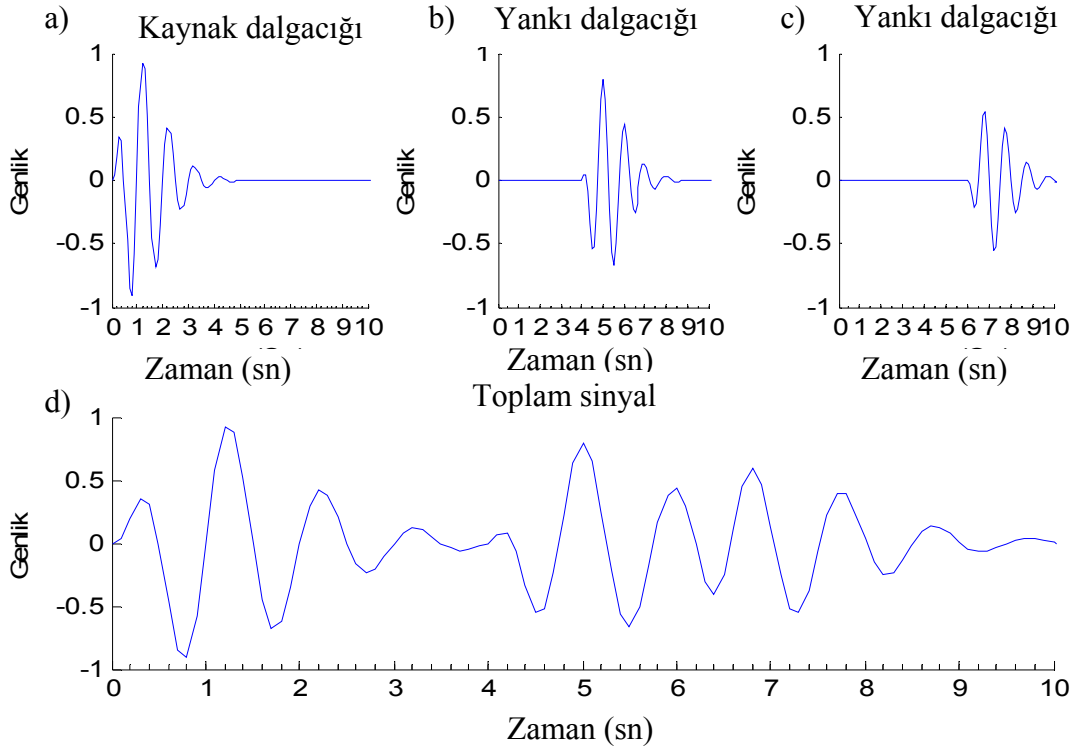
Kaynak ve bir yankısının toplanmasıyla oluşturulan dalga modelleri üzerinde yapılan faz etkisi çalışmalarına bu defa 2. bir yankı eklenmiştir. Bu defa kaynak ve her iki yankıda birbirlerine göre faz farklarına sahiptir. Yankıların kaynak fonksiyonuna göre gecikme zamanları sırasıyla 4 sn ve 6 sn sabit alınmıştır. Bu gecikme zamanları için faz farkı içermeyen üçlü sinyal toplamının kepstrum sonuçları incelenmişti. Sinyallere faz farkı uygulandığında kepstrum ortamındaki pik yapılarında bir değişim gözlenmiştir. Bu değişim uygulanan faz farklarına göre ilişkilendirilerek sinyaller arasındaki faz farkları tahmin edilmeye çalışılmıştır.



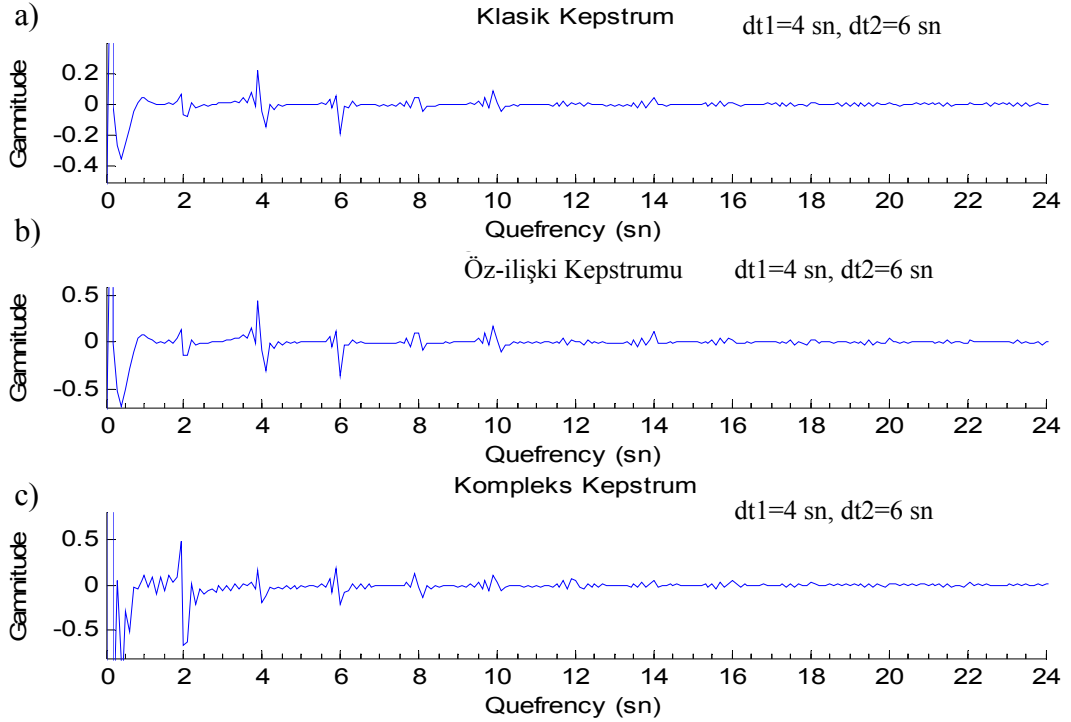
Şekil 94. a) Kaynak sıfır fazlı, b) İlk yankı 45^0 faz farklı (kaynağa göre), c) 2. yankı 90^0 faz farklı (kaynağa göre) d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal



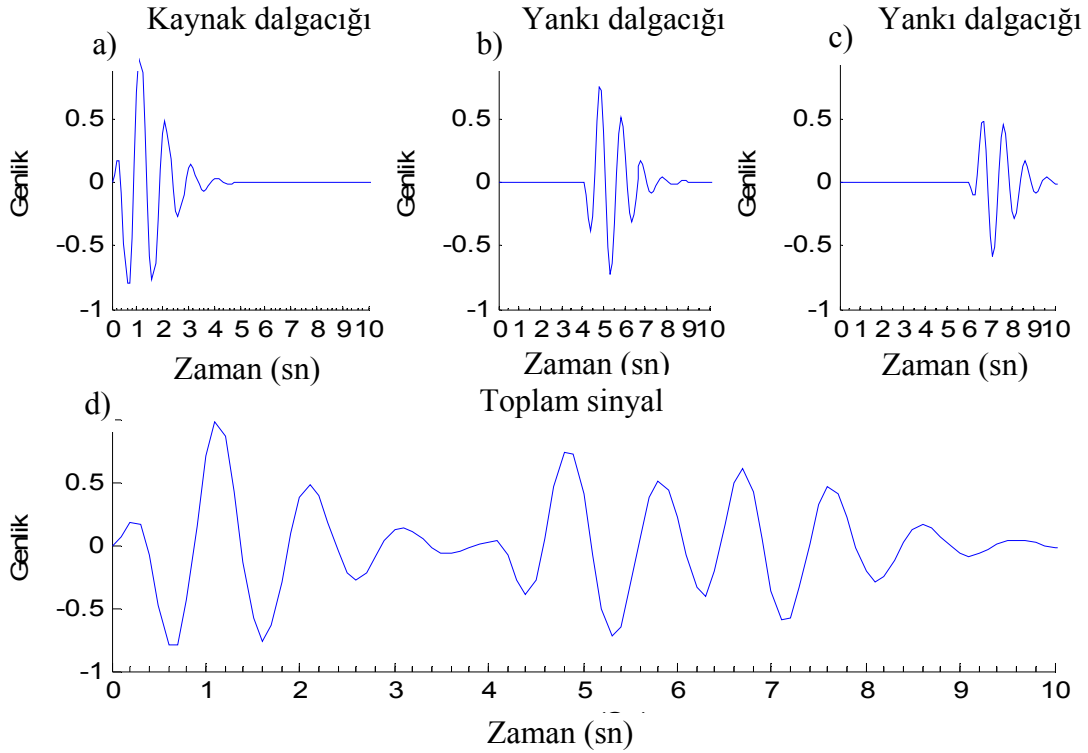
Şekil 95. Şekil 94 d' deki toplam sinyalin a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu c) Kompleks kepstrumu



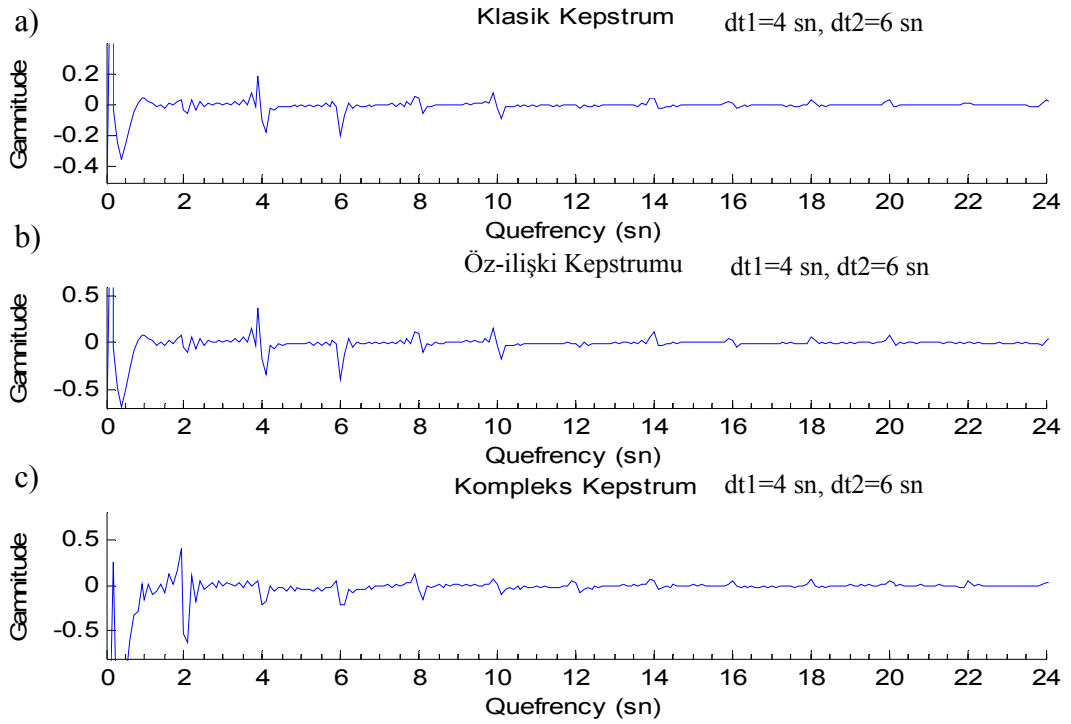
Şekil 96. a) Kaynak sıfır fazlı, b) İlk yankı 90^0 faz farklı (kaynağa göre), c) 2. yankı 180^0 faz farklı (kaynağa göre) d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal



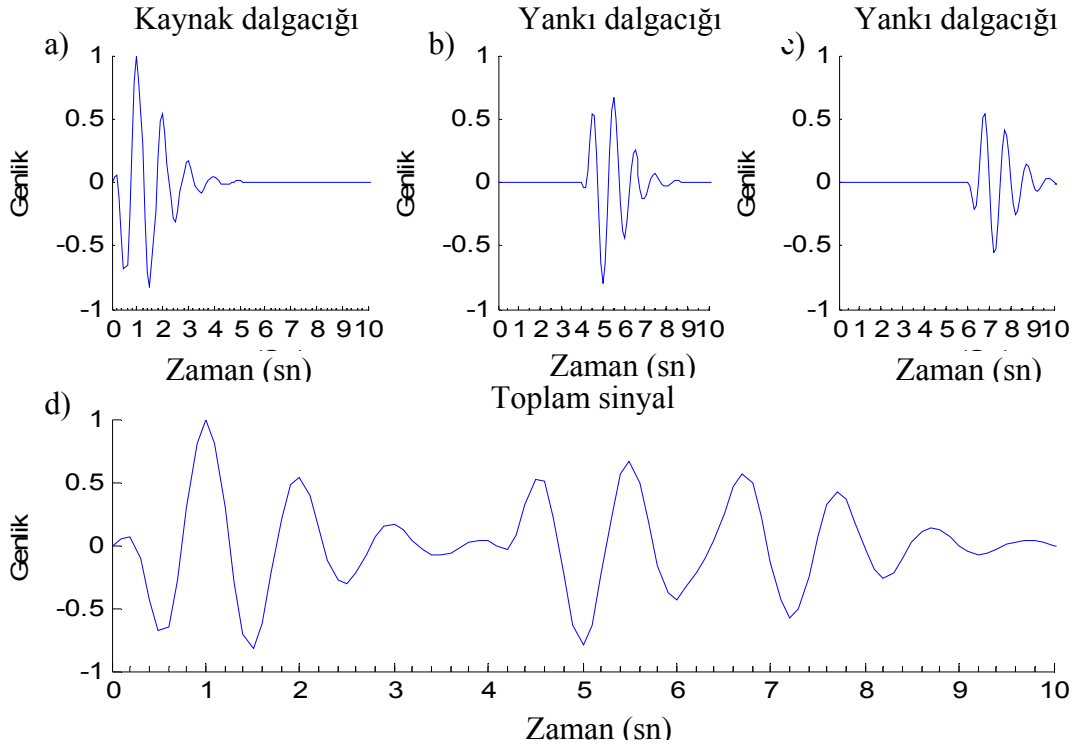
Şekil 97. Şekil 96 d'deki toplam sinyalin a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu



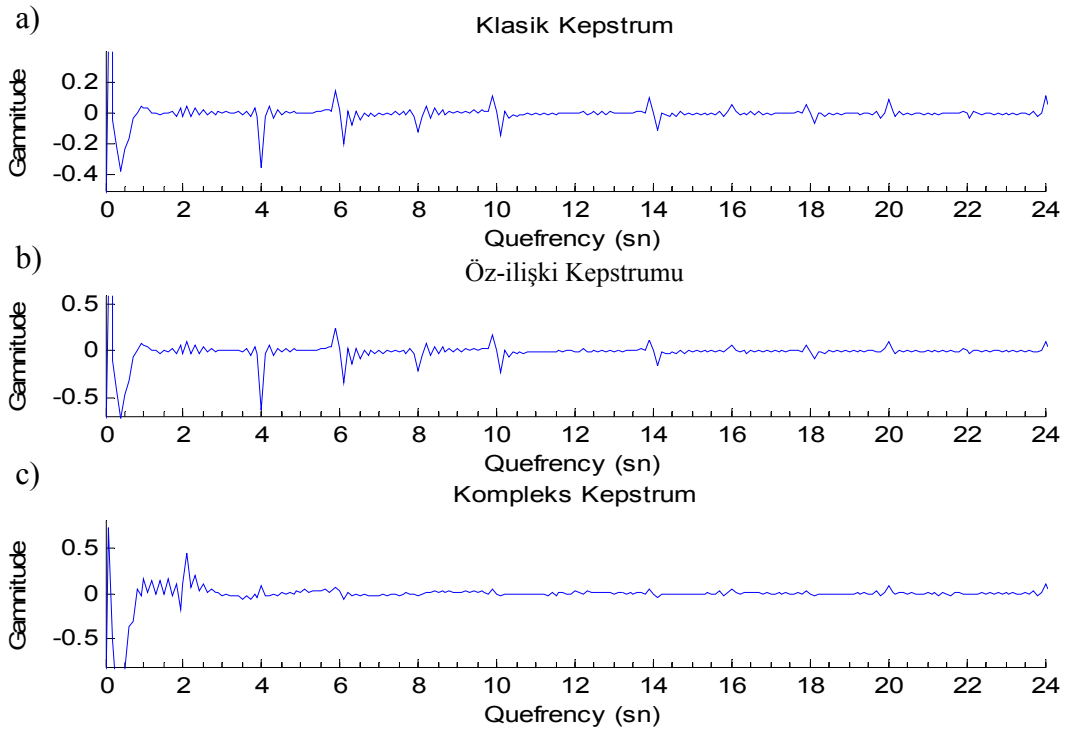
Şekil 98. a) Kaynak 45^0 (Temel Berlage fonksiyonuna göre), b) İlk yankı 90^0 faz farklı (Temel Berlage fonksiyonuna göre), c) 2. yankı 180^0 faz farklı (Temel Berlage fonksiyonuna göre), d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal



Şekil 99. Şekil 98 d'deki toplam sinyalin a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu



Şekil 100. a) Kaynak 90^0 (Sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), b) İlk yankı 270^0 faz farklı (Sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), c) 2. yankı 180^0 faz farklı (sıfır fazlı Berlage fonksiyonuna göre), d) Bu sinyallerin toplanarak oluşturulan toplam sinyal



Şekil 101. Şekil 100 d'deki toplam sinyalin, a) Klasik kepstrumu, b) Öz-ilişki kepstrumu, c) Kompleks kepstrumu

Her biri birbirine göre farklı faz kayması değerine sahip girişmiş üç adet dalga için kepstrumları hesaplanarak Şekil 94 ve Şekil 101 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 94’de kaynak, birinci yankı ve ikinci yankıdan oluşan ve sırasıyla 0^0 , 45^0 , 90^0 faz kaymasına sahip bir dalga formunun oluşturulması gösterilmiştir. Burada yankılar kaynağa göre sırasıyla 4 sn ve 6 sn geciktirilmiştir. Bu şekilde oluşturulmuş bir toplam dalgacığın üç farklı kepstrum sonuçları Şekil 95’te verilmiştir. Çıkan sonuçlara göre, sinyaller arasındaki gecikme zamanı farklarından ileri gelen pik değerleri, Bölüm 2.1.3.7.1’deki duruma benzer quefrençy’lerde görülmüştür. Burada sadece oluşan bu piklerin biçimlerindeki değişimler söz konusudur. 45^0 faz kaymasına sahip dalgacık beklenildiği gibi 4 sn bir delta fonksiyonu göstermiş ve faz farkından dolayı yukarıya doğru beklenen bir keskinlikte değil distorsiyona uğramış bir şekildedir. Bu şekilsel bozulma 6 sn beklenen delta fonksiyonunda daha fazladır çünkü onun kaynağa göre faz kayması 90^0 ’dir.

Şekil 95’te 4 sn, 6 sn ve katlarının dışında da, çeşitli büyüklüklerde pikler gözlenmektedir. Bunlar Bölüm 2.1.3.7.1’de de değinildiği gibi yankılar arasındaki gecikme farklarının toplamı ya da çıkartılması sonucunda oluşmaktadır. Örneğin 2 sn’de görülen fakat normalde olmaması gereken pik 6 sn ve 4 sn’nin farkından ileri gelmektedir. Bu tip yalancı piklerin etkisi kompleks kepstrumda diğerlerine göre daha fazla etkilenmektedir.

Şekil 96’da gösterilen ve faz farkı değerleri sırasıyla 0^0 , 90^0 , 180^0 olan toplam dalgacık için çözümlere bakıldığında da benzer durumlar gözlenmiştir. Yine 4 sn ve 6 sn’lerde olması gereken delta fonksiyonları gözlenmiştir. 4 sn’deki delta fonksiyonu 90^0 faz farkına sahip olduğu için maksimum bir distorsiyona sahiptir. 6 sn’deki delta fonksiyonu ise kaynağa göre 180^0 faz farkına sahip olduğu için keskin ve kaynağa göre tam tersi şekilde bir delta fonksiyonu oluşturmuştur. Bunların yanında her zamanki gibi yalancı delta fonksiyonları da bulunmaktadır ve beklenildiği gibi bu yalancı delta fonksiyonlarından en fazla kompleks kepstrum etkilenmektedir (Şekil 97).

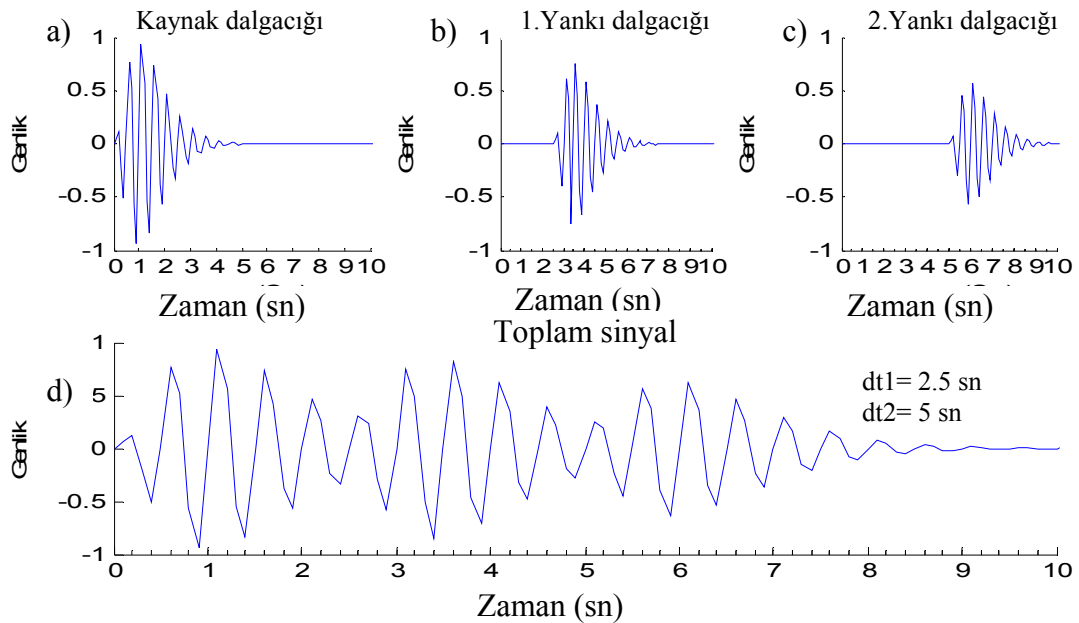
Şekil 98’de ise 45^0 , 90^0 , 180^0 faz farklı dalgacıklardan oluşan girişmiş toplam dalga gösterilmiştir. Şekil 99’daki sonuçlara bakıldığında tüm dalgacıklar değişik fazlara sahip oldukları için yine delta fonksiyonlarında değişimler görülmektedir. Burada dikkat edilecek olursa kaynak ve 3. yankı arasındaki faz farkı 180 derece olduğu için 6 sn’de gözlenen delta fonksiyonu yine kaynağa göre negatif tarafta ama keskin bir şekilde gözlenmiştir.

Son olarak değişik faz bileşenlerinin oluşturulmasında, kaynak ve ikinci dalgacık arasındaki faz farkı 90^0 olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 100). Sırasıyla fazlar 90^0 , 270^0 ,

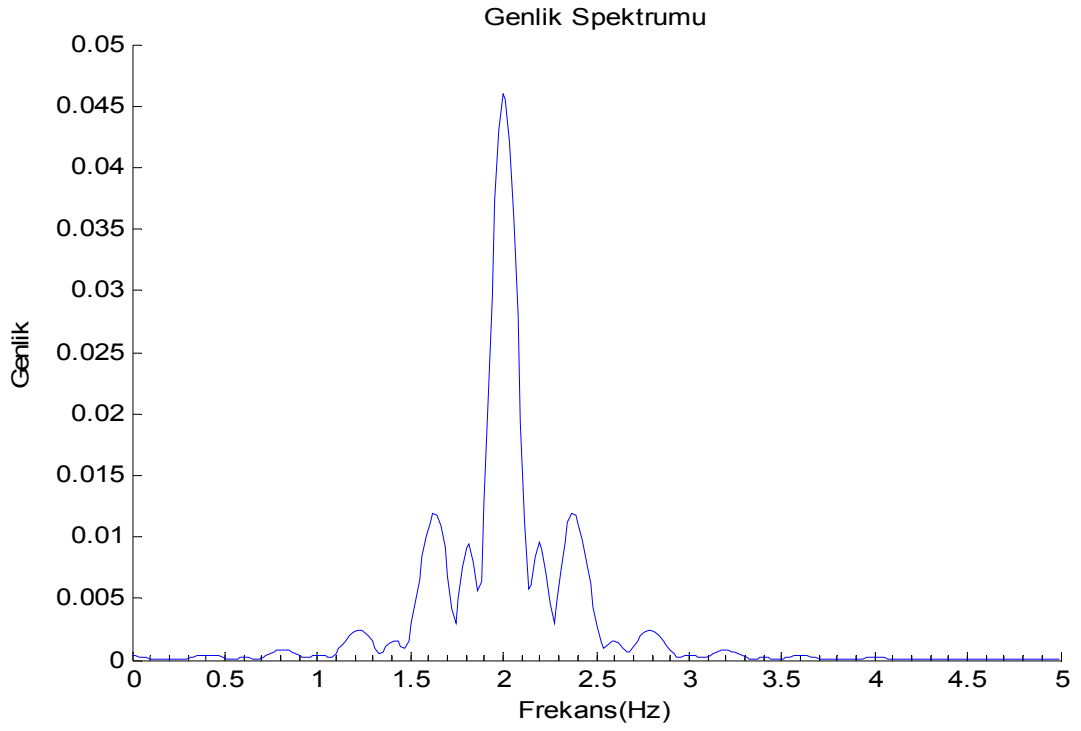
180^0 olarak alınmıştır. Şekil 101'deki sonuçlara bakıldığında 4 sn'deki delta fonksiyonu beklenildiği gibi kaynağa göre tam tersi şekilde ve keskin olarak gözlenmiş diğer delta fonksiyonu ise maksimum bir distorsiyona sahiptir. Çünkü kaynağa göre aralarındaki faz farkı 180^0 dir. Kompleks kepstrum sonucuna bakıldığında diğer iki kepstrum sonuçlarından daha farklı bir durum gözükmemektedir ve beklenen sonuçlardan oldukça farklıdır. Kısacası 45^0 ve daha büyük faz farkları kepstrum üzerindeki delta fonksiyonunun yapısında önemli şekilsel değişikliklere neden olmaktadır. Bu etkiler 90^0 ve 270^0 maksimuma ulaşmakta 0^0 , 180^0 derecelerde ise minimuma düşmektedir. Bunlardan ayrı olarak kompleks kepstrum tek başına faz farklarının olduğu sinyaller için yeterli olmayabilir.

2.1.3.7.3. Farklı Frekans İçeriğine Sahip İki Yankılı Model

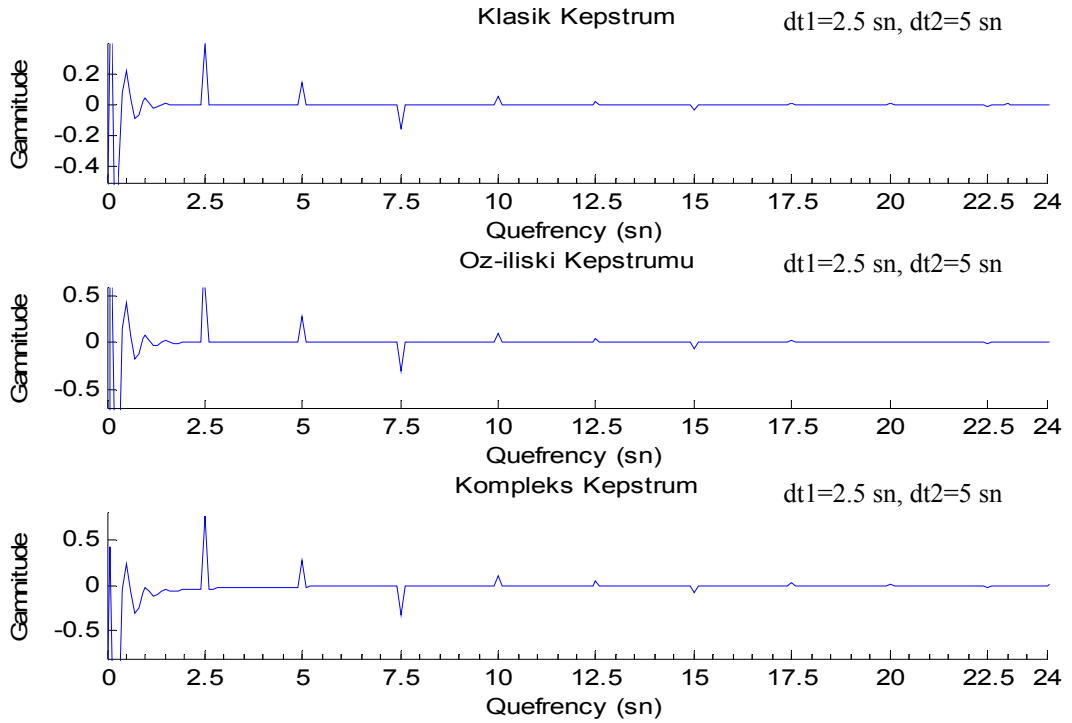
Farklı gecikme zamanlı iki dalgacığın toplamından oluşan sinyaller üzerinde, sinyallerin merkez frekansları (MF) değiştirilerek kepstrumları hesaplanmıştır. Toplam dalga üzerine 3. bir sinyalin eklenmesiyle farklı merkez frekansları için yine kepstrumları incelenmiştir. Kaynak dalgacığı merkez frekansı hariç diğer özellikleri değiştirilmeden bir Berlage fonksiyonu alınmış, ilk yankı kaynağa göre $a = 0.7$ genlikli ve aralarındaki gecikme zamanı 2.5 sn sabit alınarak oluşturulmuştur. İkinci yankı ise kaynağa göre genliği $a = 0.5$ olarak ve aralarındaki gecikme zamanı 5 sn olacak şekilde oluşturulmuştur.



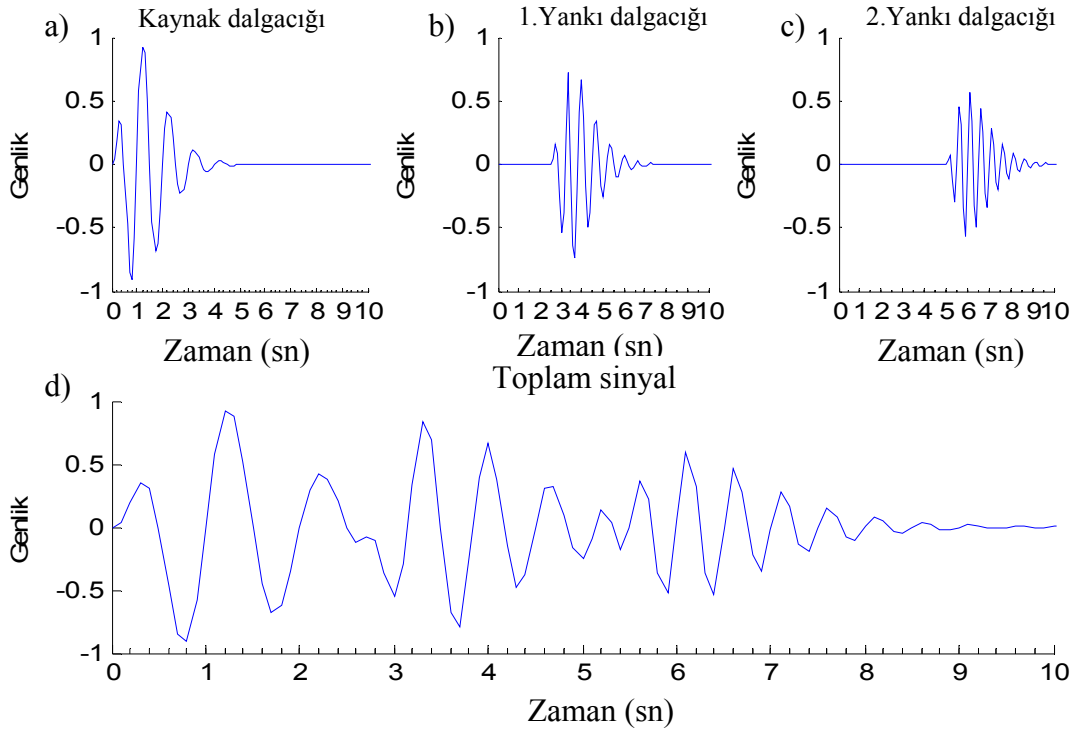
Şekil 102. a) Kaynak dalgacığı (MF = 2 Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu



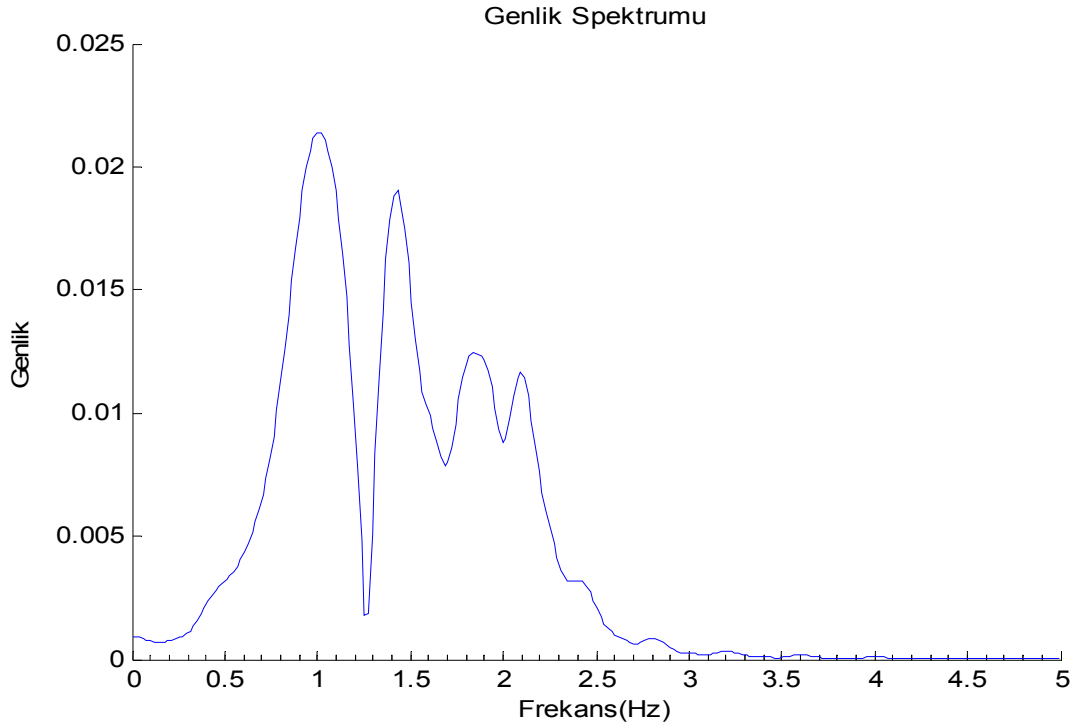
Şekil 103. Şekil 102'deki girişirilmiş üç adet sinyalin toplamının genlik spektrumu



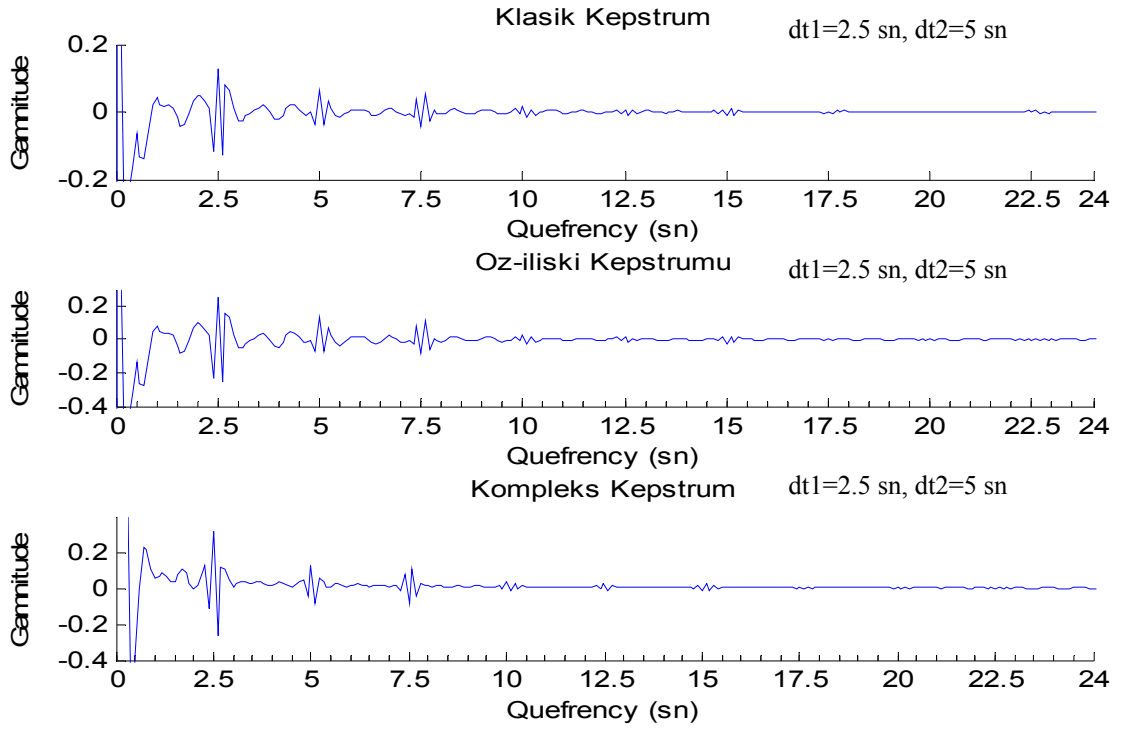
Şekil 104. MF değerleri 2 Hz olan üç adet sinyalin toplamına ait kepstrum sonuçları



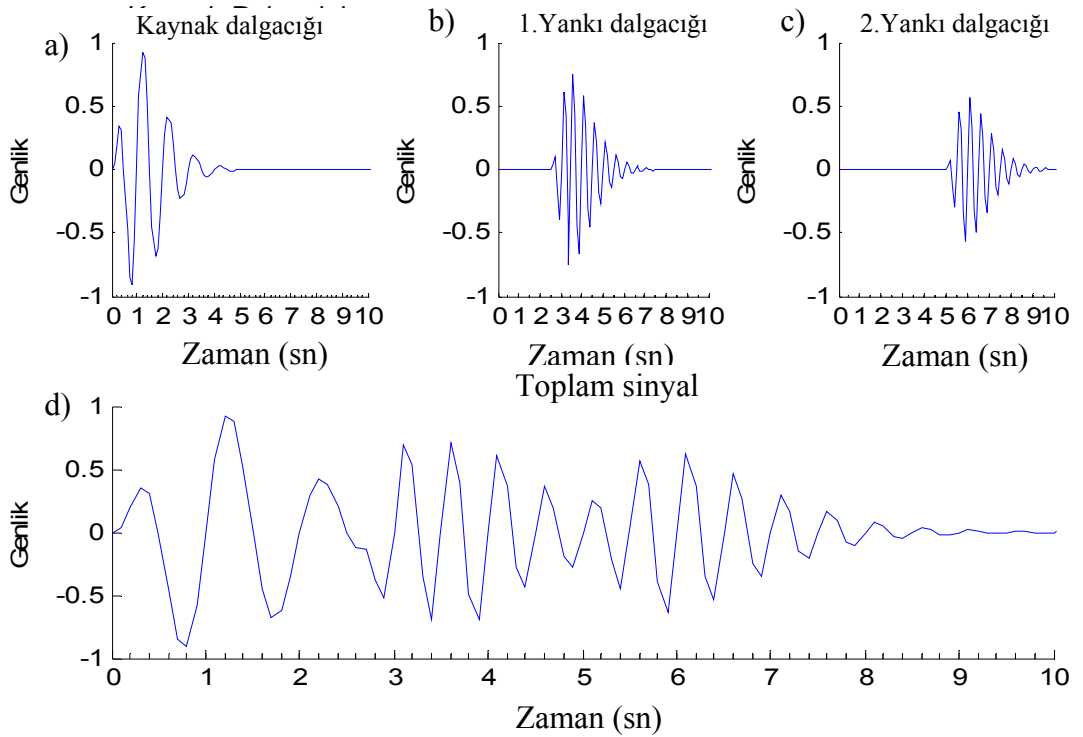
Şekil 105. a) Kaynak dalgacığı (MF = 1 Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 1.5 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu



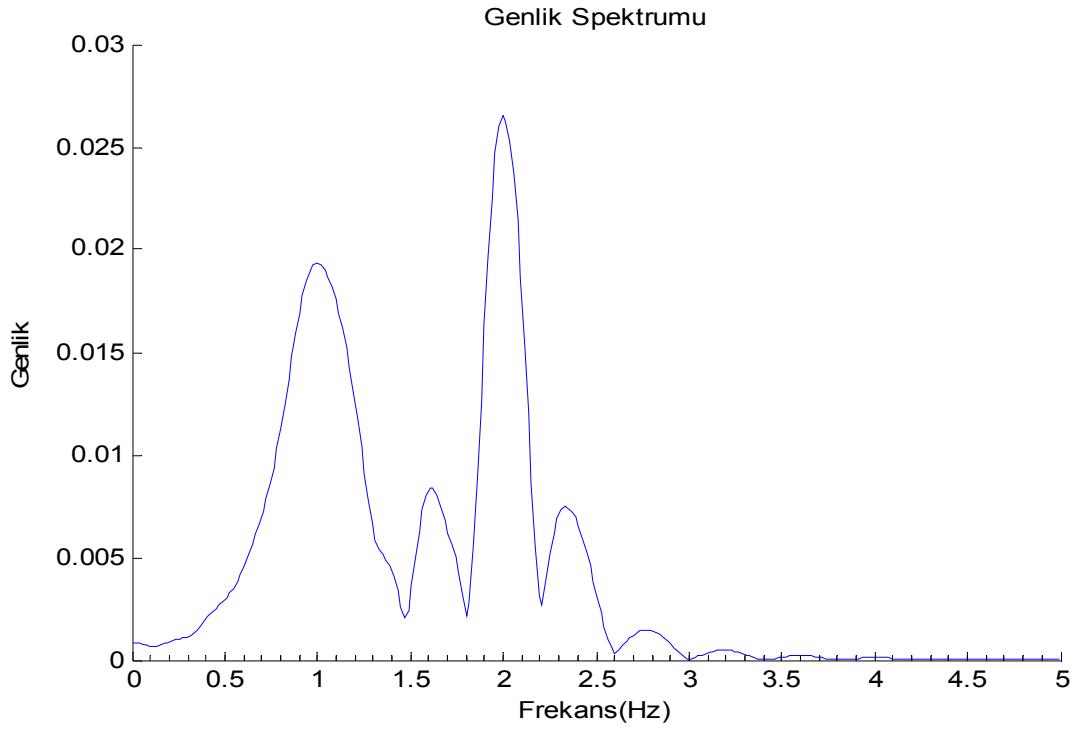
Şekil 106. Şekil 105'deki giriştirilmiş üç adet sinyale ait genlik spektrumu



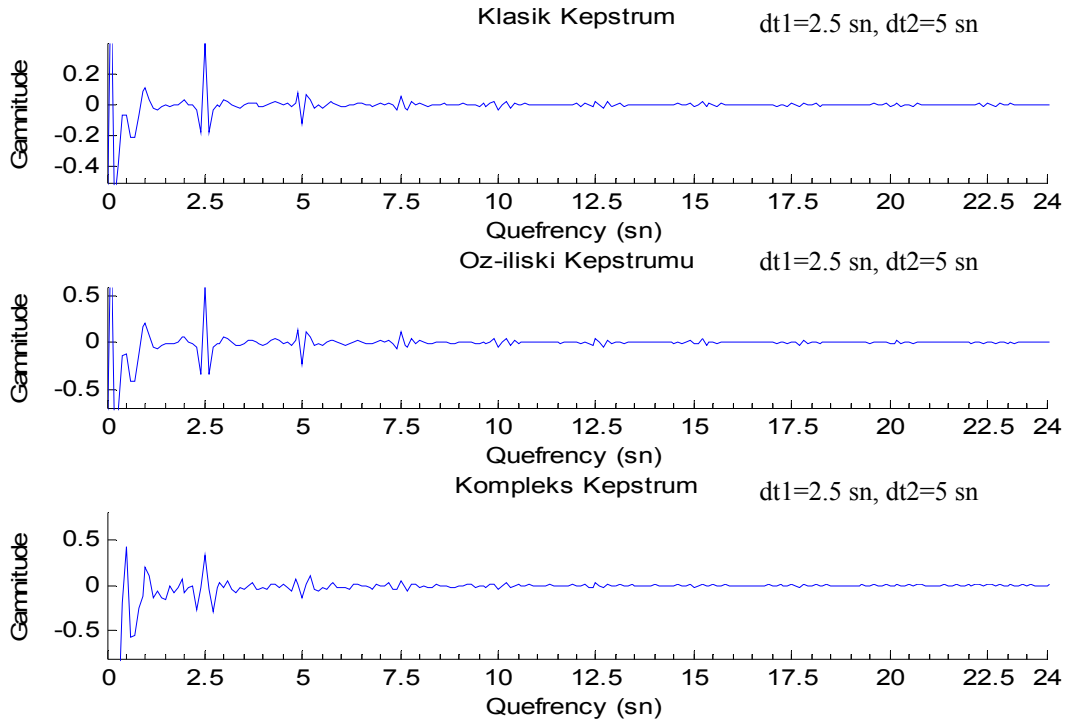
Şekil 107. Merkez frekans değerleri sırasıyla 1, 1.5, 2 Hz olan üç adet sinyalden oluşan toplam sinyal için kepstrum sonuçları



Şekil 108. a) Kaynak dalgacığı (MF 1 = Hz), b) 1. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), c) 2. yankı dalgacığı (MF = 2 Hz), d) Toplam sinyal fonksiyonu



Şekil109. 108'deki gibi giriştirilmiş üç adet sinyale ait genlik spektrum



Şekil 110. Merkez frekans değerleri sırasıyla 1, 2, 2 Hz olan üç adet sinyalden oluşan toplam sinyal için kepstrum sonuçları

Farklı merkez frekans değerlerine sahip üç adet dalgacık için yapılan kepstrum çalışmaları iki sinyalden oluşmuş olan dalga formunun bir ileriki aşaması olacaktır. Şekil 102’de ilk olarak kaynak ve yankılarının merkez frekans değerleri 2 Hz olacak şekilde oluşturulmuştur. Burada kaynağa göre birinci yankı 2.5 sn ikinci yankı ise 5 sn gecikme zamanlı olarak girştirilmiştir. Genlikler ise kaynak yine 1 genlikli olarak alınmış birinci yankı 0.7 genlikli ve ikinci yankı ise 0.5 genlikli olarak küçültülmüştür. Tüm sinyallerin merkez frekanslarının 2 Hz olarak alınmasıyla oluşturulan girişmiş dalgacığın genlik spektrumu Şekil 103’te gösterilmektedir. Bu kepstrum için ideal bir sonuçtur. Elde edilen kepstrum sonuçlarına bakıldığında da bu açıkça görülmektedir. Her üç kepstrum sonucunda da beklenen zamanlarda keskin delta fonksiyonları görülmektedir (Şekil 104).

Şekil 105’te ise sadece frekans değerlerinde sırasıyla 1 Hz, 1.5 Hz ve 2 Hz olarak değişiklik yapılarak toplam sinyalin oluşturulması gösterilmiştir. Şekil 106’da ise bu dalgacığın genlik spektrumu verilmiş ve bu şekilden başlangıçta sinyallere ait merkez frekansları açıkça görülmektedir. Şekil 107’deki kepstrum sonuçlarına bakıldığında klasik kepstrum, öz-ilişkiden hesaplanan kepstrum ve kompleks kepstrum için belirtiler yine görülmüştür. Fakat delta fonksiyonları keskinliklerini kaybederek zaman farkı okumaları için yorumcuya kolaylık sağlamamaktadır. Delta fonksiyonları distorsiyona uğradığı için tam olarak x-ekeninde hangi quefrensy’nin gecikme zamanına karşılık geldiğini tespit etmek zorlaşmaktadır.

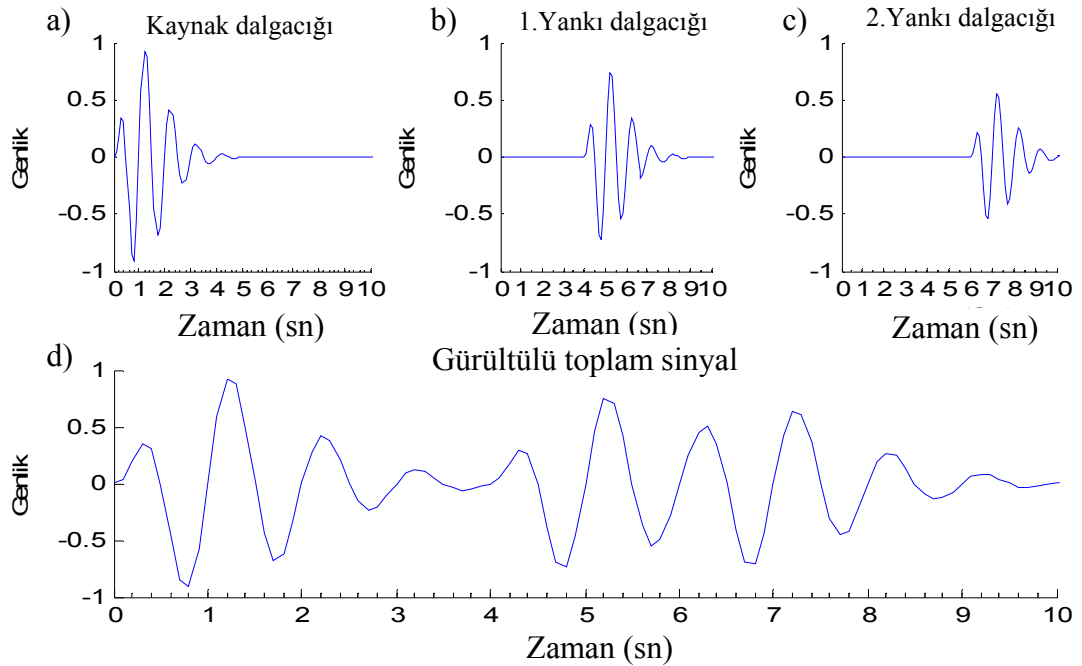
Son olarak yankıların merkez frekansları birbirine eşit ana kaynağıkiyle farklı olarak hazırlanan girştirilmiş toplam sinyalin kepstrum sonuçları incelenmiştir. Şekil 108’de kaynağın merkez frekansı 1 Hz ve yankıların merkez frekansı 2 Hz olan dalgacık gösterilmiştir. Bu toplam sinyalin genlik spektrumu Şekil 109’da gösterilmiştir. Şekil 110’da elde edilen kepstrum sonuçlarına bakıldığında ayrımlılık için yeterli bir sonuca rağmen delta fonksiyonlarının distorsiyona uğradığı açıkça görülmektedir. Bu şekilsel bozulma beklenildiği gibi kompleks kepstrumda daha fazla görülmektedir. Kepstrum işleminde iki yankının merkez frekansları eşit olduğu için bu iki dalga birbirine benzer özellik gösterdiğinden sonuçta keskin bir delta fonksiyonu verecektir. Fakat her iki yankı kaynağa göre merkez frekanslarındaki küçük farktan dolayı bu keskinlik biraz olsun etkilenecektir. Kısacası ister iki adet sinyalden ister daha fazla sinyalden oluşan toplam sinyaller için, eğer bileşenlerin merkez frekansları birbirlerine eşit değilse kepstrum sonuçları istenilen delta fonksiyonlarını vermez.

2.1.3.7.4. Üç Adet Sinyal İçin Gürültülü Model Çalışmaları

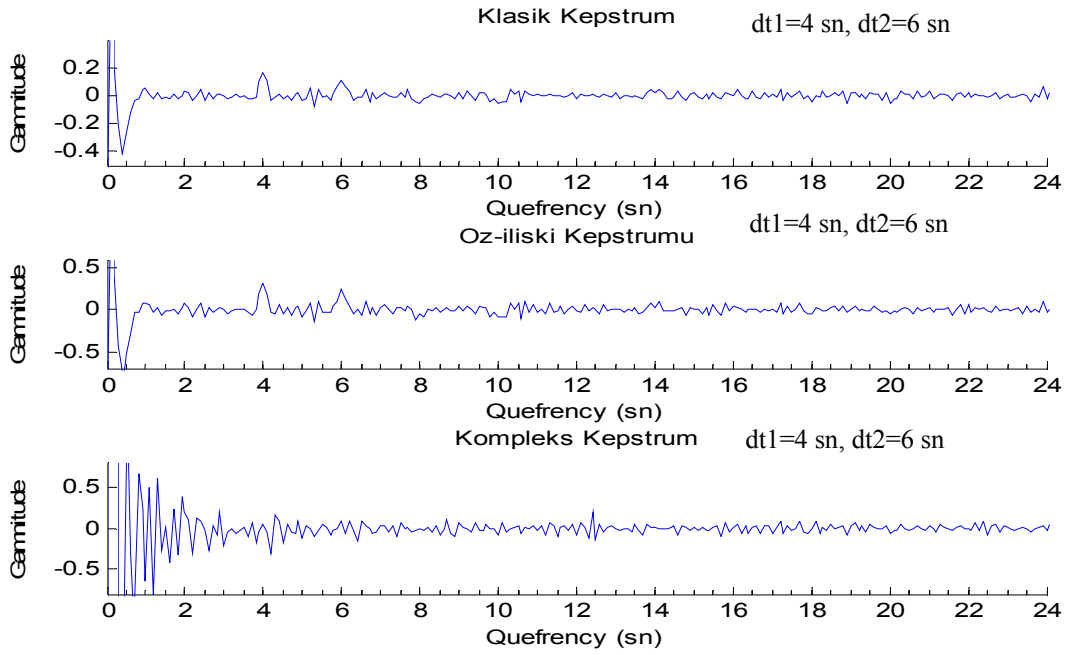
İki sinyalden oluşan veriler için, Bölüm 2.1.3.3'te gürültünün kepsstrum sonuçları üzerine etkileri incelenmişti. Üç adet sinyalden oluşan toplam dalgalar için yine iki farklı gürültü türü kullanılmıştır. Beyaz ve renkli gürültü olarak isimlendirilen bu gürültüler yine değişik gürültü oranları için veriye eklenmiş ve kepsstrumları hesaplanmıştır.

2.1.3.7.4.1. Beyaz Gürültü

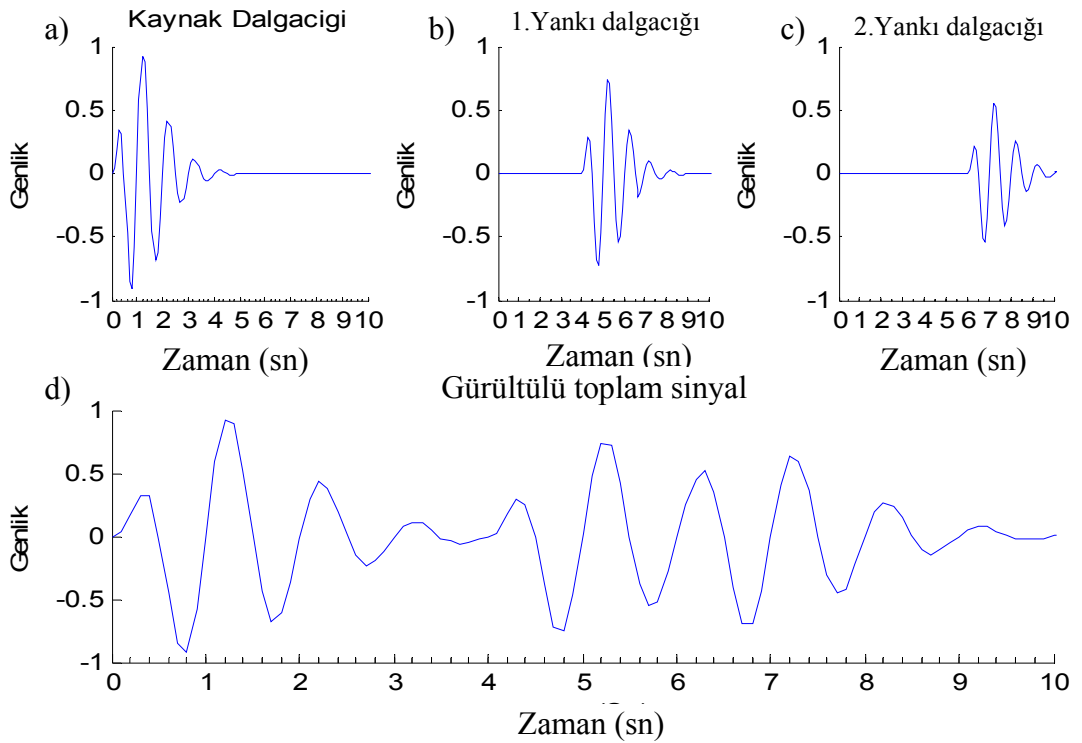
Oluşturulacak toplam dalga üç Berlage fonksiyonundan oluşmaktadır. Kaynak fonksiyonumuz hiçbir değişikliğe uğramamış Berlage fonksiyonu, 1. yankısı ise kaynağa göre genliği $a = 0.7$ olan ve gecikme zamanı 4 sn Berlage fonksiyonu, 2. yankısı ise genliği $a = 0.5$ kaynağa göre gecikmesi 6 sn olan bir Berlage fonksiyonudur. Sonra bu fonksiyonlar giriştilererek toplam dalga elde edilmiştir.



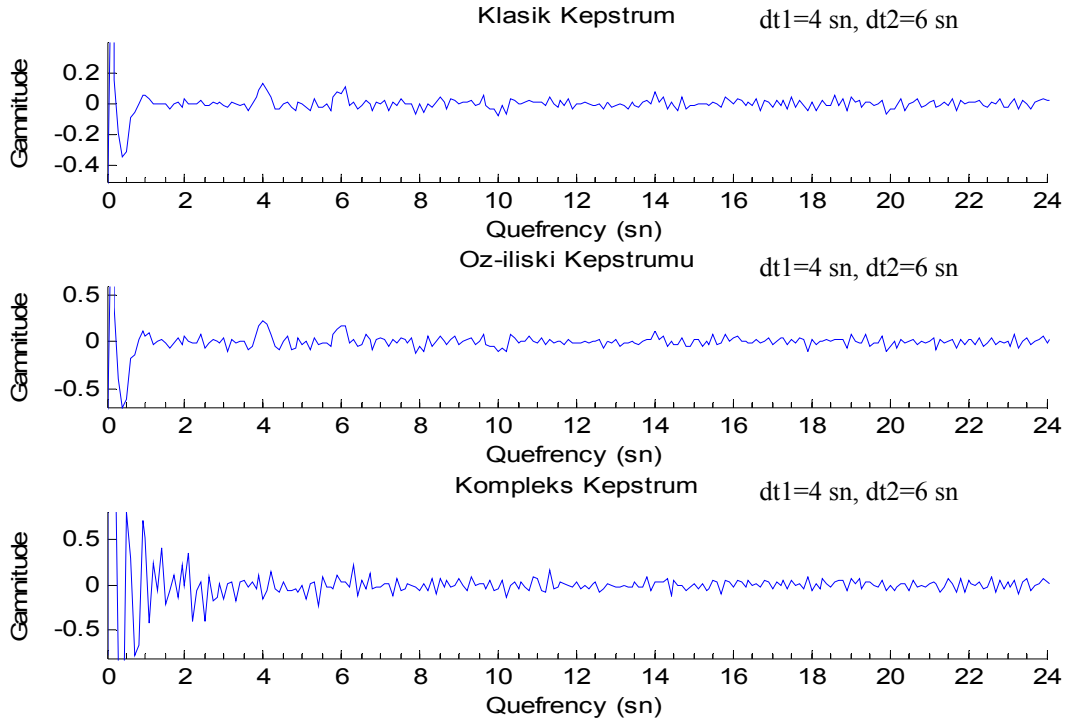
Şekil 111. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.001 oranında beyaz gürültülü toplam sinyal



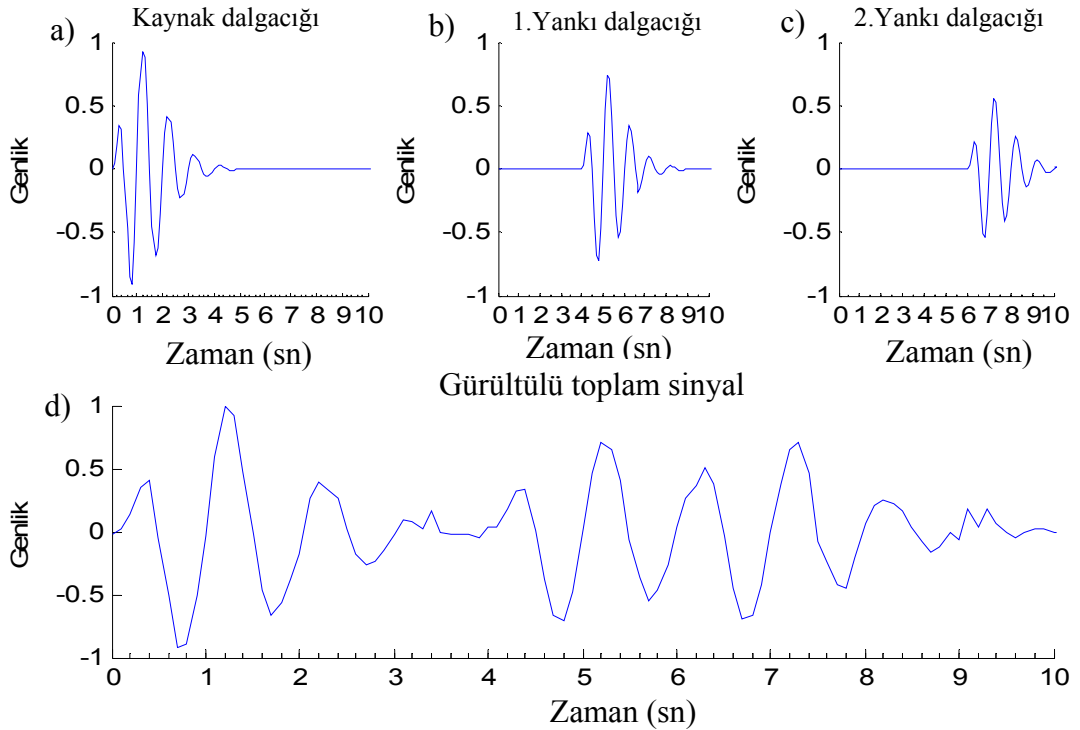
Şekil 112. Şekil 111'deki gibi oluşturulmuş modele ait dalganın kepstrumları



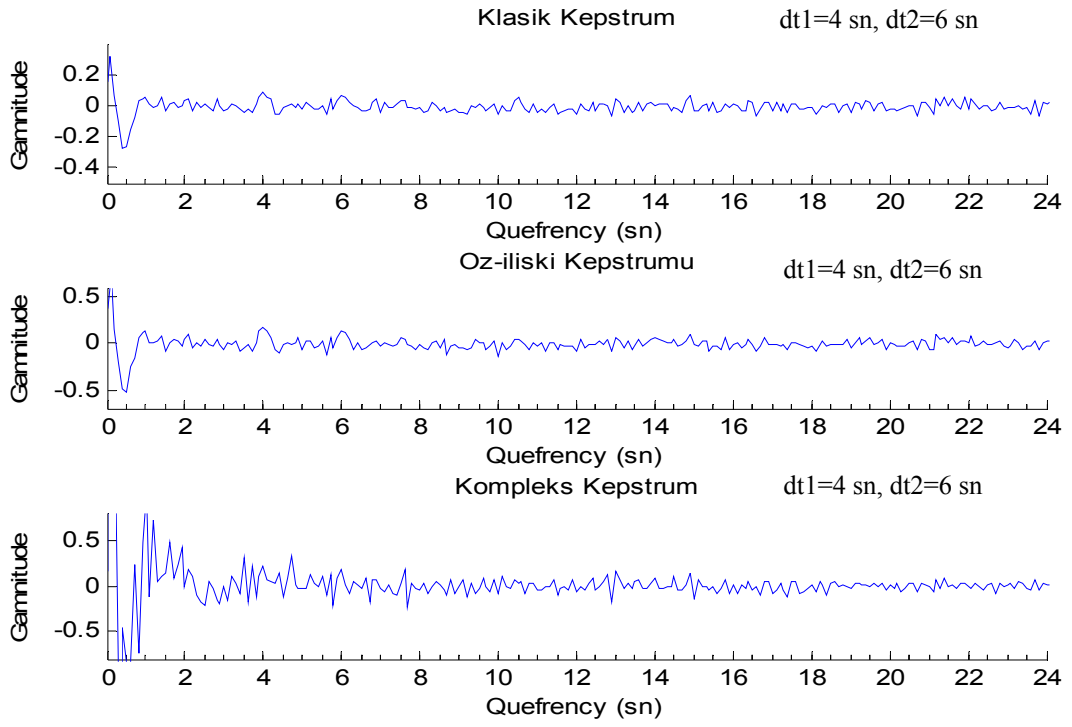
Şekil 113. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.005 beyaz gürültünün toplam sinyale eklenmesi



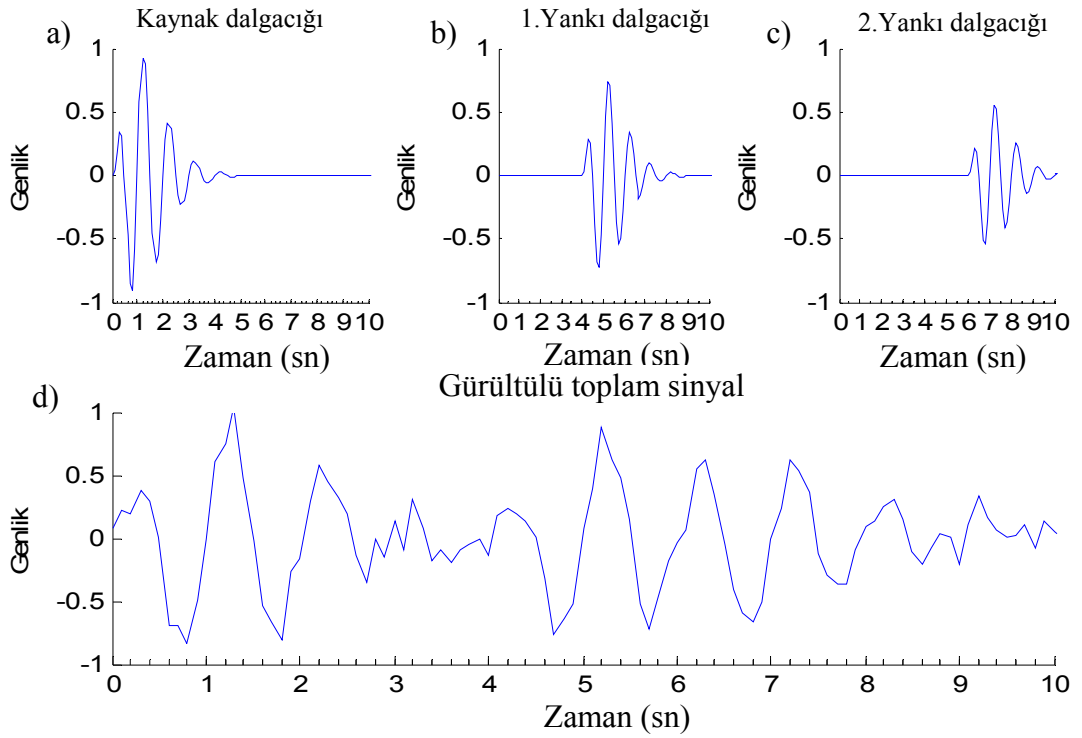
Şekil 114. Şekil 113'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin kepstrumları



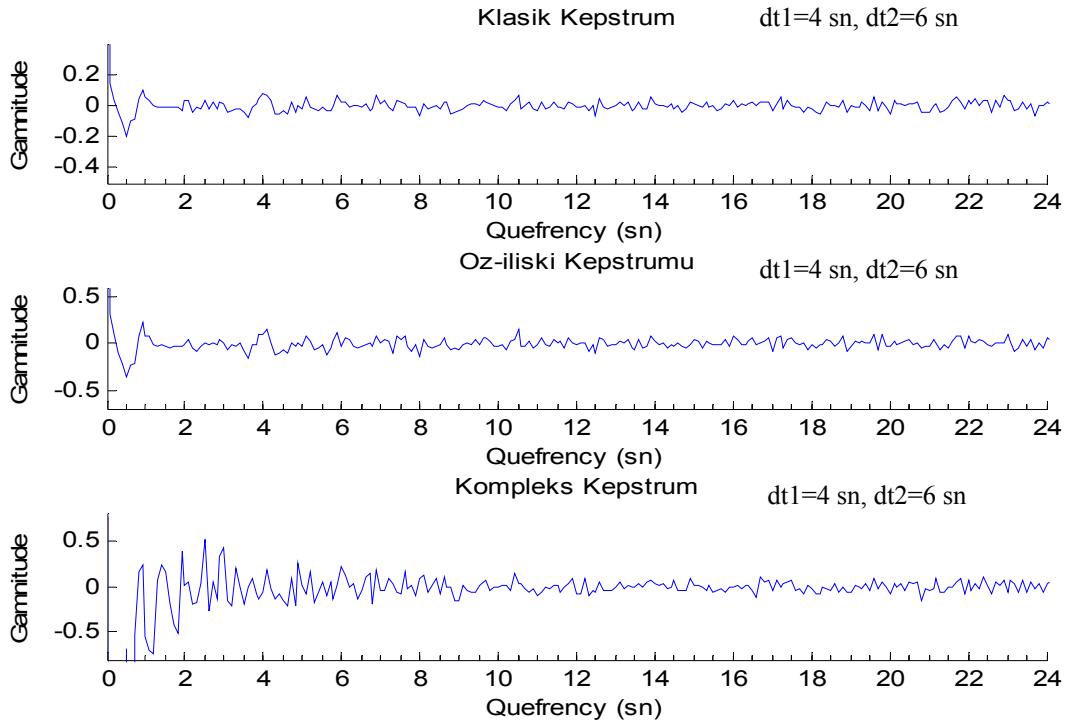
Şekil 115. a) Kaynak dalgacı, b) 1. yankı dalgacı, c) 2. yankı dalgacı, d) %0.01 beyaz gürültülü toplam sinyal



Şekil 116. Şekil 115'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin cepstrumları



Şekil 117. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.05 beyaz gürültülü toplam sinyal

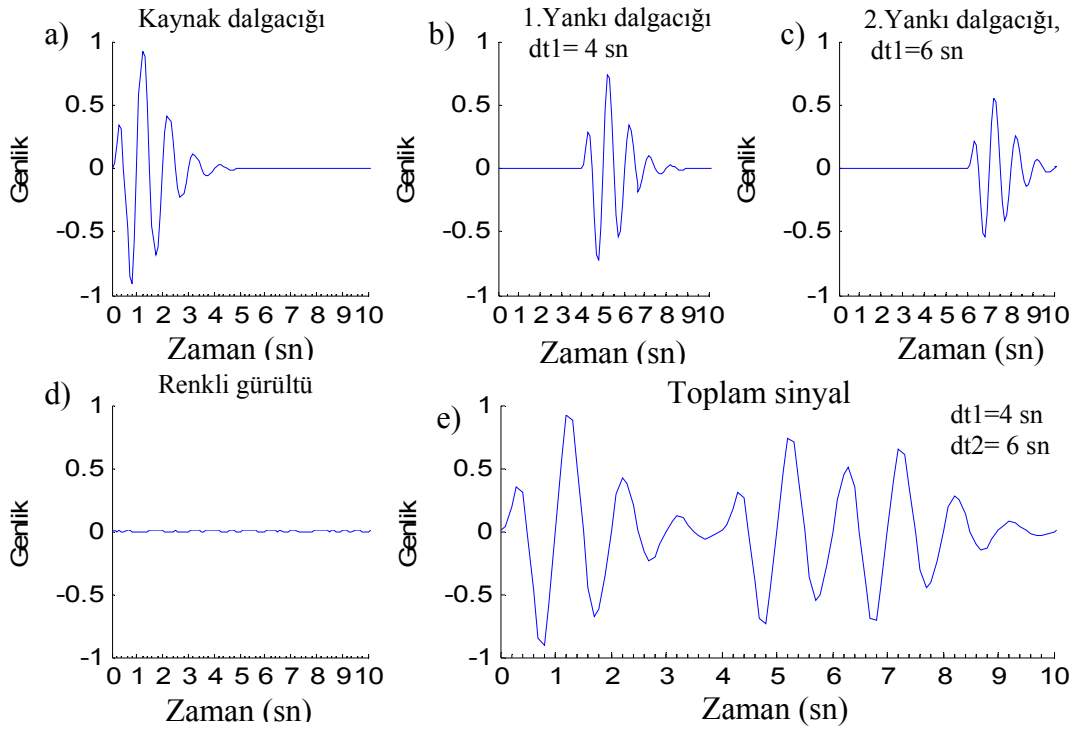


Şekil 118. Şekil 117'deki gibi oluşturulmuş modele ait sinyalin kepstrumları

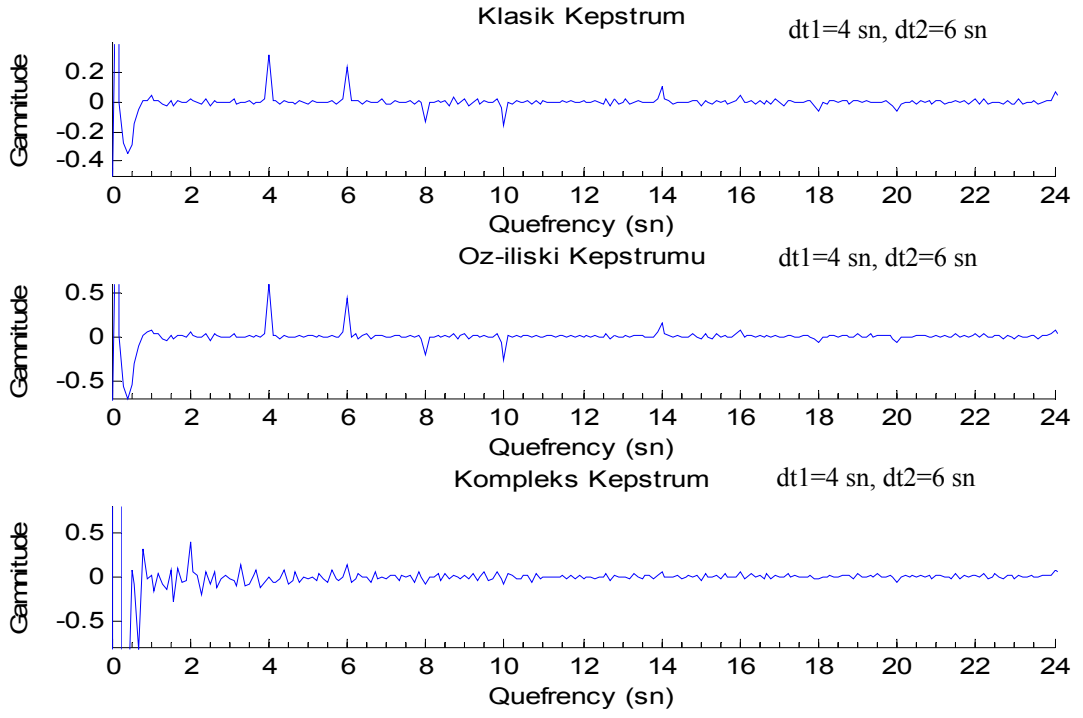
Şekil 111'de üç adet sinyalden oluşan girişirilmiş sinyalin nasıl oluşturulduğu ve beyaz gürültünün eklenmesiyle çıkan kepstrum sonuçları gösterilmeye çalışılmıştır. Bu şekilde hazırlanan toplam sinyaller üzerine bu dalga formu boyutuna uygun % 0.001 oranında bir beyaz gürültü eklenmiştir. % 0.001'lik beyaz gürültülü içeren toplam sinyalin kepstrum sonuçları Şekil 112'de gösterilmiştir. Eklenen gürültü oranı çok küçük olmasına rağmen elde edilen sonuçlara bakıldığında şekilsel bozulma oldukça büyüktür. Örneğin 4 sn ve 6 sn'lerde bir belirti bulunmasına rağmen kompleks kepstrumda bu da gözükmemektedir. Klasik ve öz-ilişkiden hesaplanan kepstrum değerleri kompleks kepstrum değerine göre daha anlaşılır sonuçlar üretmiştir. %0.005'lik gürültülü girişmiş sinyal Şekil 113'te ve kepstrum sonuçları ise Şekil 114'te gösterilmektedir. Buradan elde edilen sonuçlarda benzerlik göstermektedir. Gürültü yüzdesi daha da arttırılarak (%0.01 ve %0.05) yapılan çalışmalarda durum beklenildiği gibi daha başarısız sonuçlar vermektedir (Şekil 115, Şekil 116, Şekil 117, Şekil 118). Burada belirlenebilir gürültü yüzdesi olarak %0.05 gürültü kabul edilebilir gürültü üst sınırı olarak alınabilir. Bu gürültü yüzdesinden daha büyük değerler için çözüm çok güvenilir olmayacaktır.

2.1.3.7.4.2. Renkli Gürültü

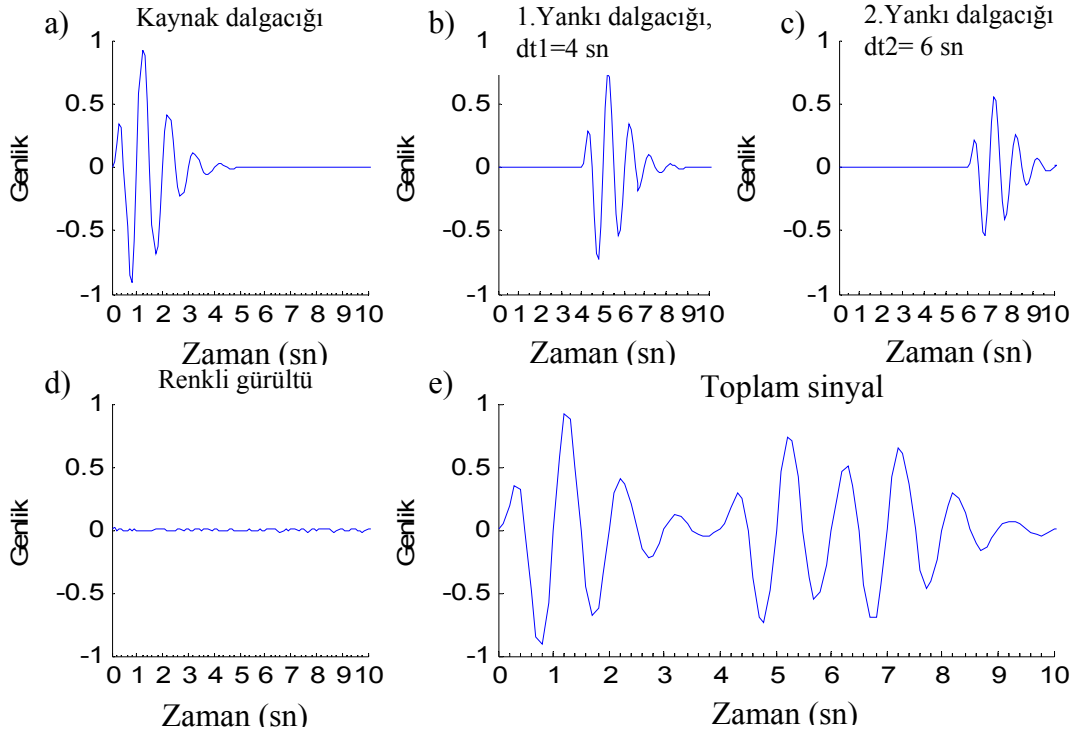
Üç adet sinyalin giriştirilmesiyle oluşturulan toplam dalga üzerine bu defa daha önce nasıl hazırlandığını gösterilen değişik gürültü oranına sahip renkli gürültüler eklenmiştir. Kaynak sinyali beyaz gürültü verisi içinde kullanılan hiçbir değişikliği uğramamış Berlage fonksiyonu, bunun ilk yankısı kaynak fonksiyonuna göre genliği $a = 0.7$ ve aralarındaki gecikme zamanı farkı 4 sn olan bir Berlage fonksiyonudur. İkinci yankı ise kaynağa göre genliği $a = 0.5$ ve kaynak ile arasındaki zaman farkı 6 sn olan Berlage fonksiyonudur. Bu üç sinyal toplandıktan sonra, bu toplam sinyal üzerine istenilen oranlarda gürültü eklenerek keppstrum sonuçları incelenmiştir.



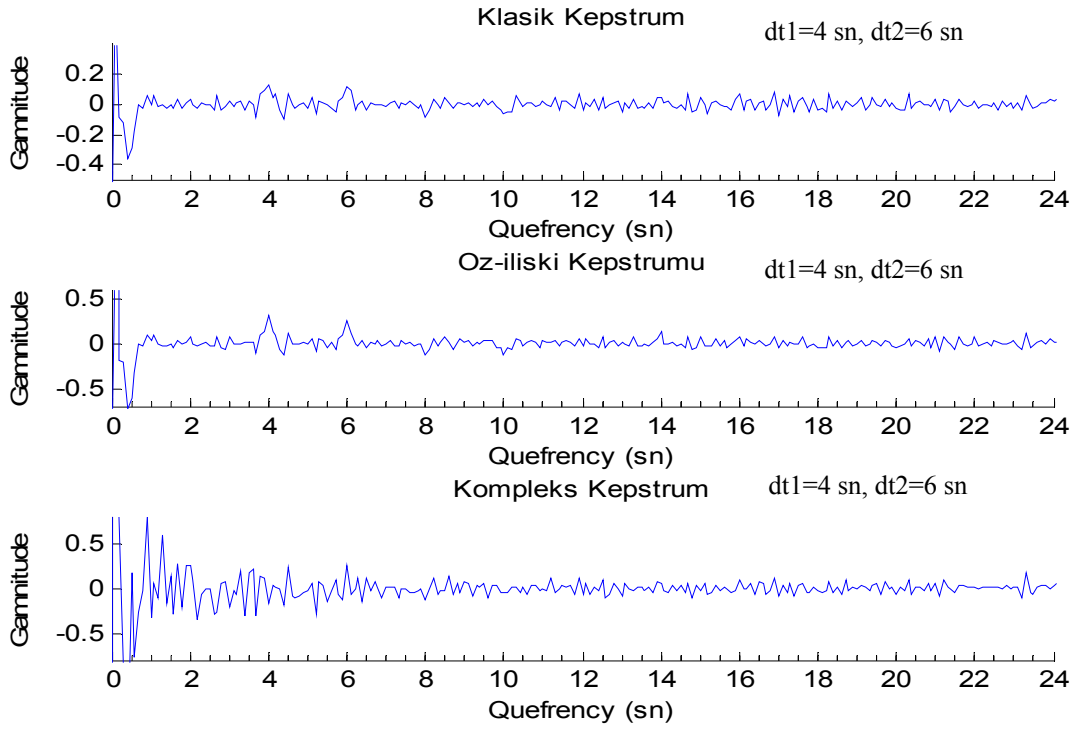
Şekil 119. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı (4sn gecikmeli), c) 2. yankı dalgacığı (6 sn gecikmeli), d) %0.001 renkli gürültü e) Toplam sinyal



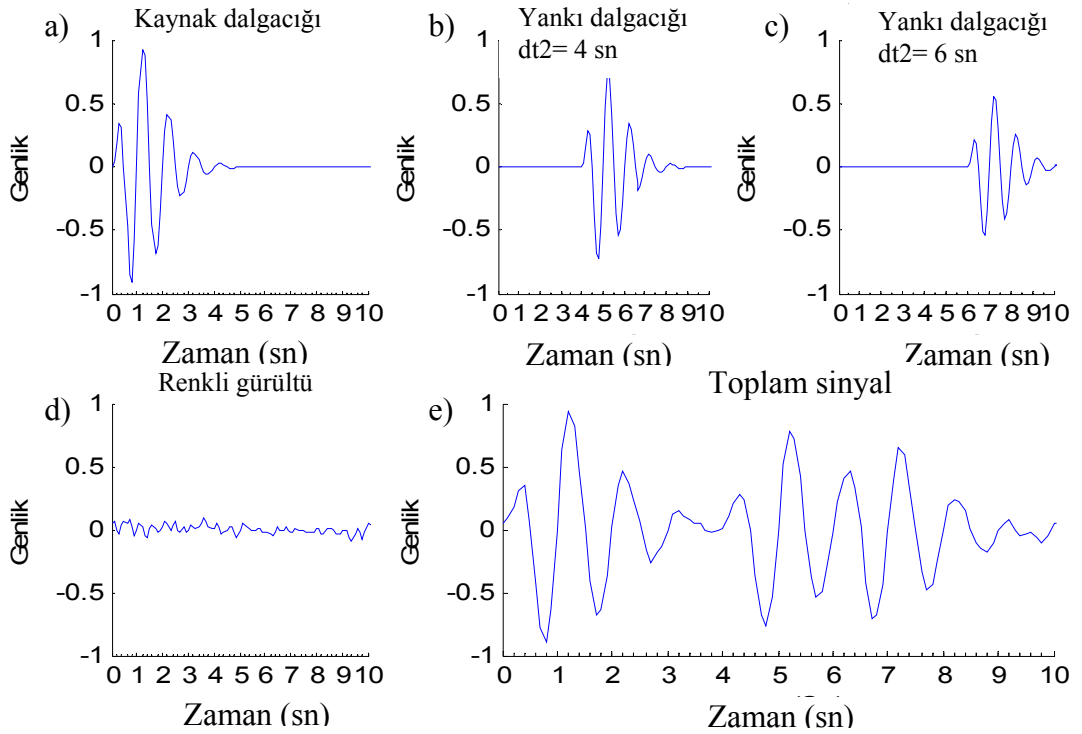
Şekil 120. Şekil 119'daki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları



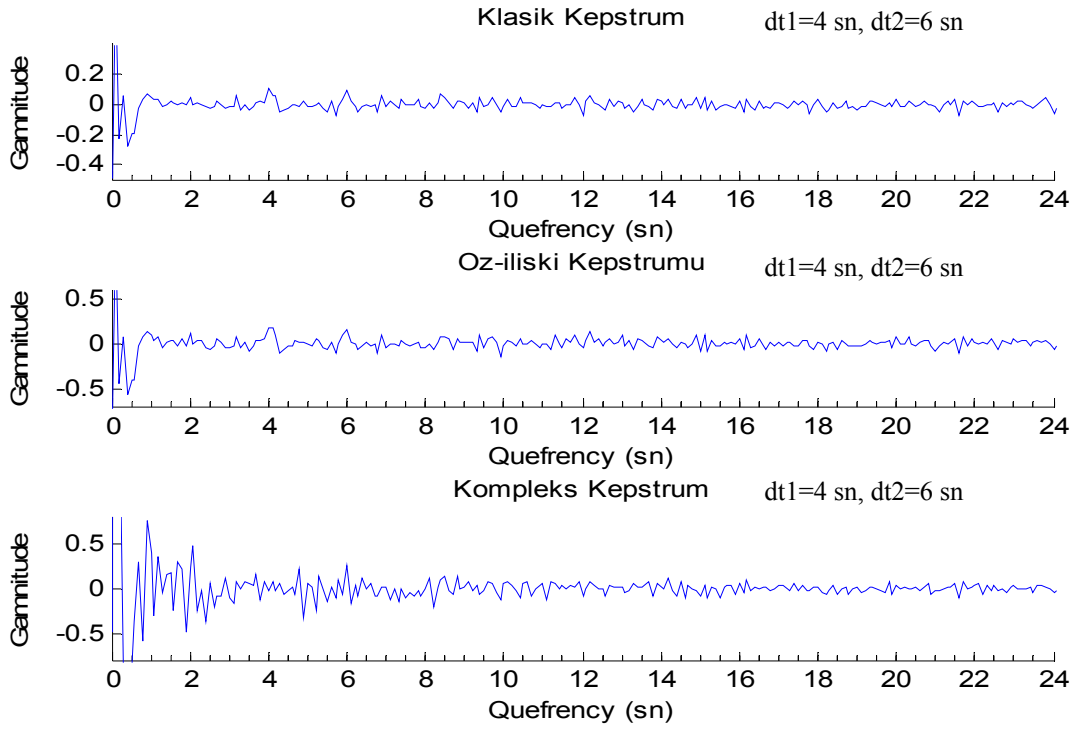
Şekil 121. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.005 renkli gürültü e) Toplam sinyal



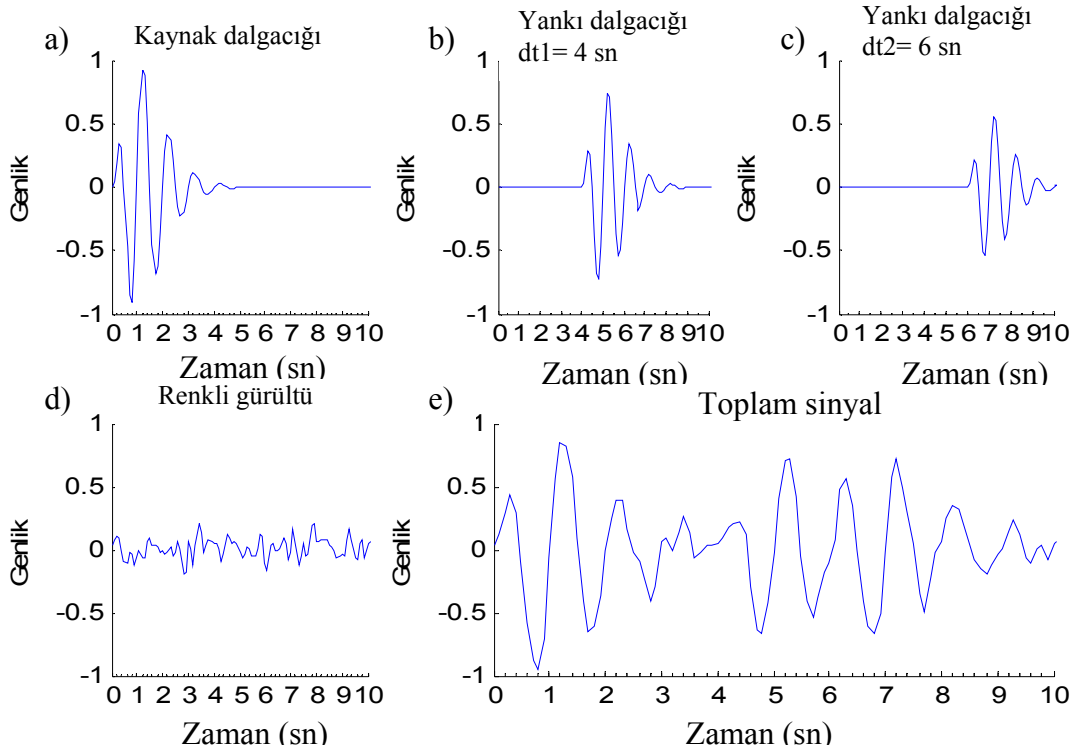
Şekil 122. Şekil 121'deki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları



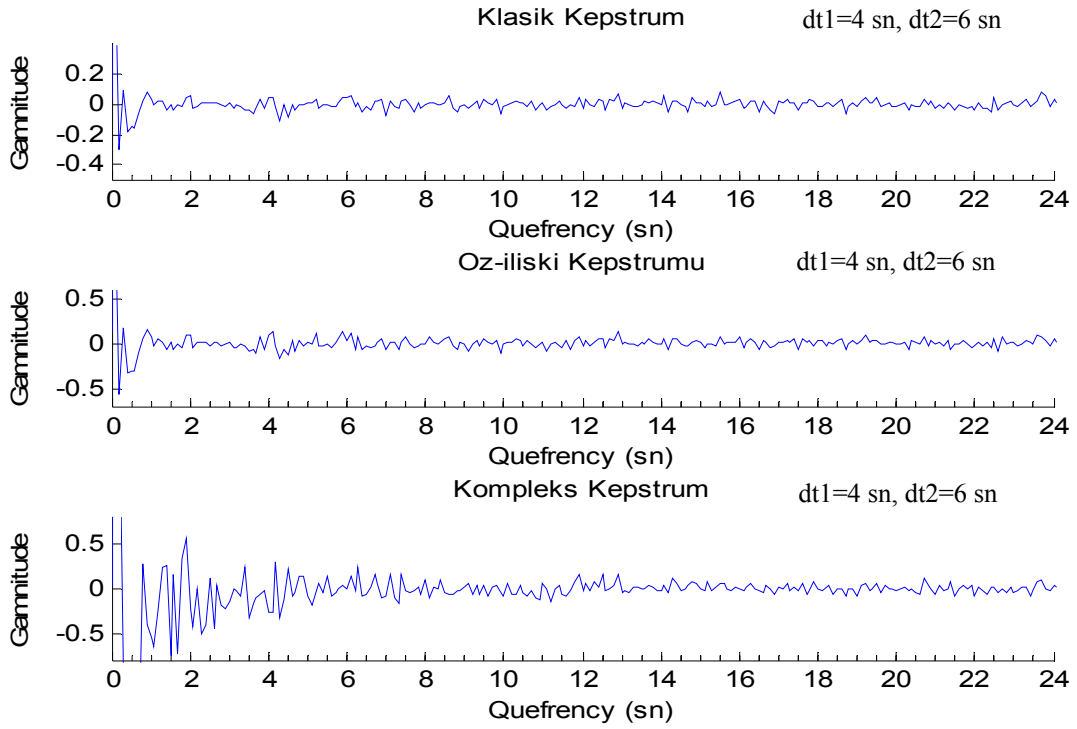
Şekil 123. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.01 renkli gürültü e) Toplam sinyal



Şekil 124. Şekil 123'deki gibi oluşturulmuş modele ait dalğanın kepstrumları



Şekil 125. a) Kaynak dalgacığı, b) 1. yankı dalgacığı, c) 2. yankı dalgacığı, d) %0.05 renkli gürültü, e) Toplam sinyal

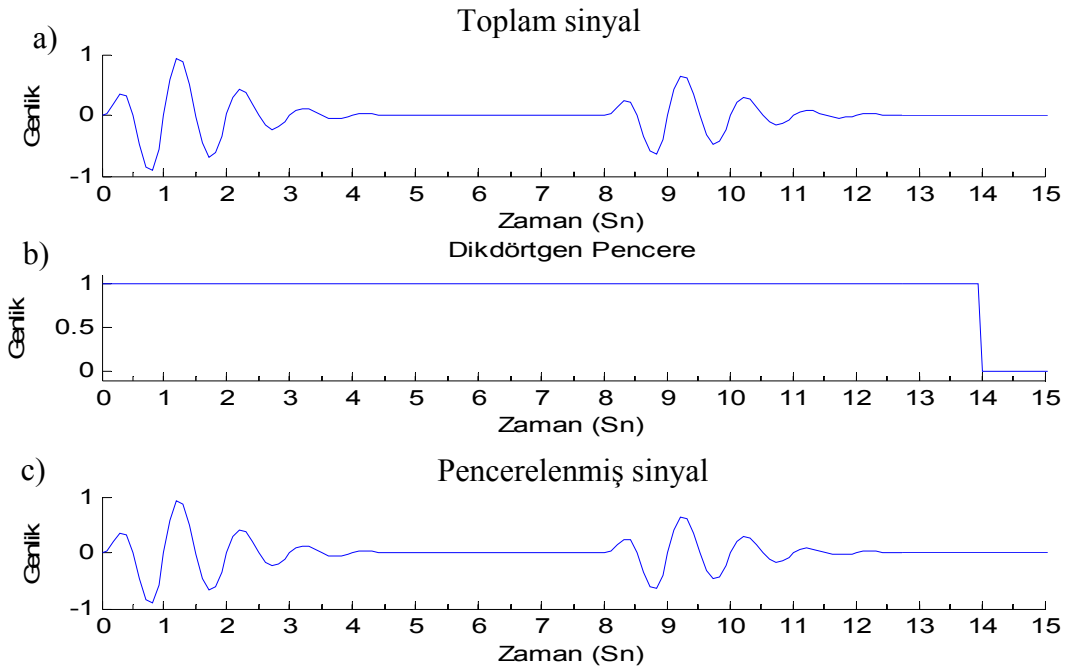


Şekil 126. Şekil 125'deki gibi oluşturulmuş toplam sinyalin kepstrumları

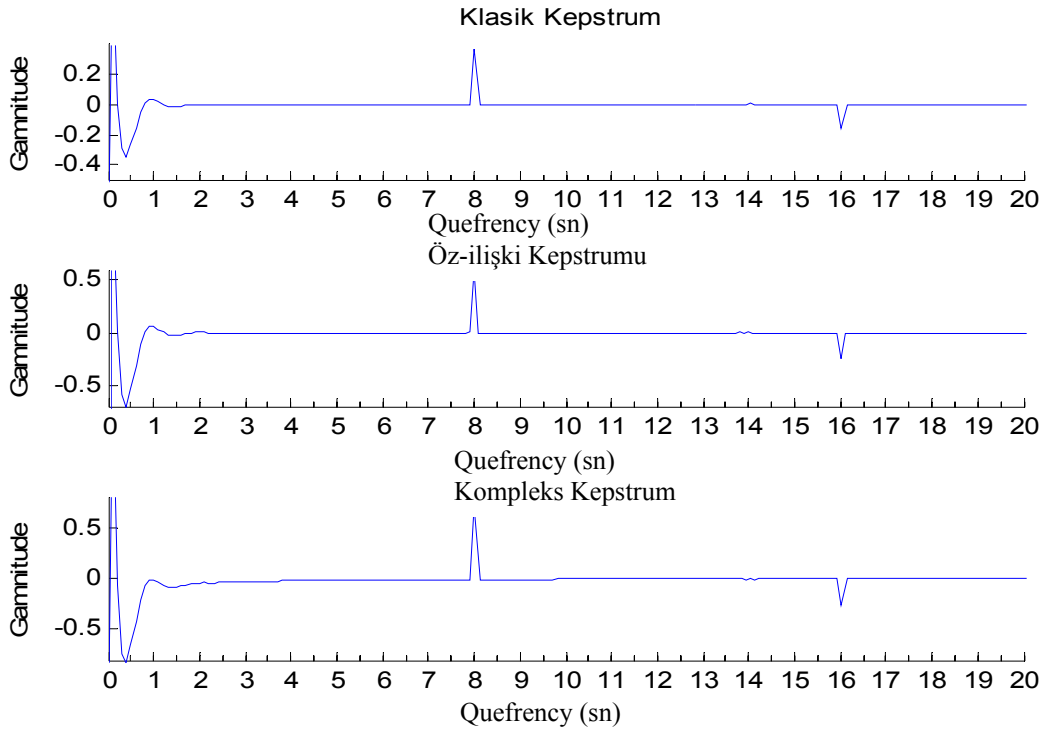
Gürültü analizinin ikinci aşaması olarak aynı girişmiş dalga üzerine benzer oranlarda bu defa renkli gürültüler eklenmiştir. İlk olarak %0.001 renkli gürültü için sinyalin nasıl oluşturulduğu Şekil 119'da gösterilmiştir. Bu şekilde oluşturulan dalgacığın kepstrum sonuçları Şekil 120'de verilmiştir. Sonuçlarda, beyaz gürültüye oranla daha belirgin değerler görülmektedir. Şekil 121'de ise %1 renkli gürültü için üç adet sinyalin girişmesiyle, toplam dalganın oluşturulması gösterilmiştir. Bunun sonucunda bulunan kepstrum değerleri Şekil 122'de verilmektedir. Sonuçlar bu defa hızla bozulmaya uğramış ve delta fonksiyonları iyice gürültünün içinde kaybolmaya başlamıştır. Klasik kepstrum, öz-ilişki kepstrumlarında durum biraz daha iyi iken, kompleks kepstrumda delta fonksiyonları gürültü içersinde iyice sönümlenmiştir. Gürültü oranının daha da artırılmasıyla (%0.01 ve %0.05) yapılan çalışmalar Şekil 123, Şekil 124, Şekil 125 ve Şekil 126'da verilmektedir. Bu modellere ait sonuçlarda delta fonksiyonları gürültünün etkisiyle ayırt edilmesi güçleşmiştir. Gürültü oranı için maksimum %0.05'e kadar yukarıdaki çalışmalarda belirgin bir sonuca ulaşıldığı görülmüş bu oranın üstündeki sonuçlar için güvenilir olarak değerlendirmenin pek olası olmadığı açıktır.

2.1.3.8. Kesme Etkisinin Araştırılması

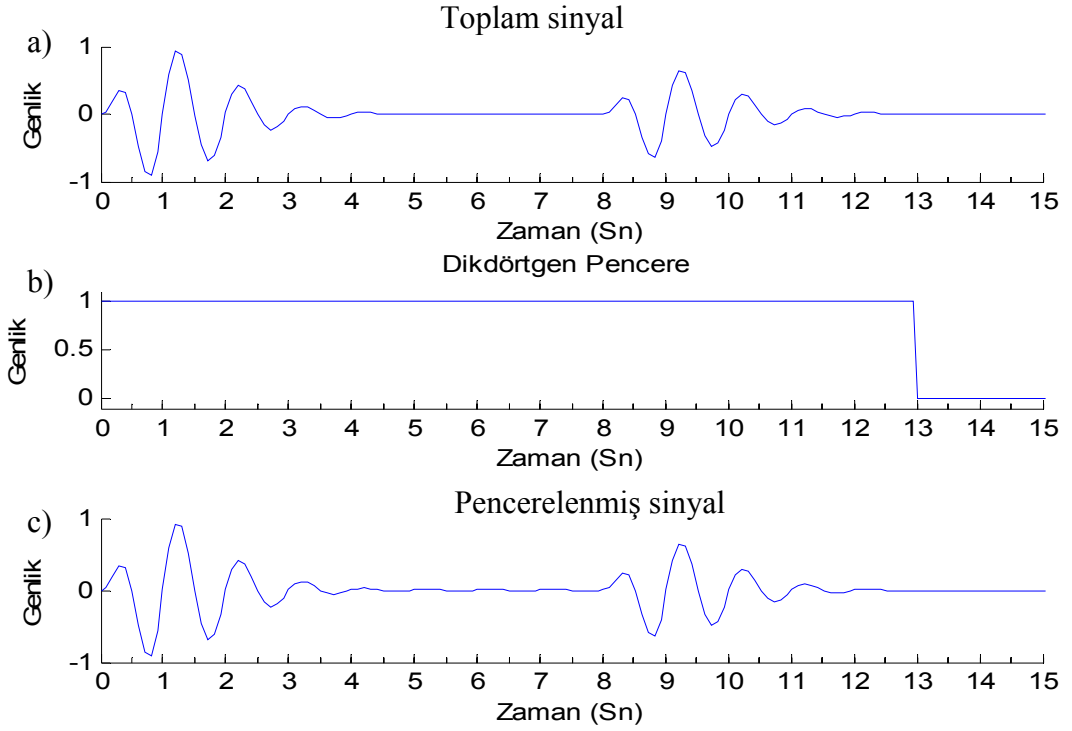
Gerçek veriler üzerinde yapılacak olan kepstrum çalışmalarında, sismograf kaydı üzerinde tüm verinin kullanılması yerine sadece ilgilenilen kısmı kullanılacaktır. Bu ayırma işlemi çeşitli pencereleme yöntemlerinden biri seçilerek yapılabilir. İlgilenilecek olan dalga fazlarını ayırmak için veri üzerinde uygulanacak pencerelemenin kepstrum üzerinde etkisinin olup olmadığı araştırılmaya çalışılacaktır. Bunun için daha önce de kullanılmış olan iki Berlage sinyalinin oluşan toplam dalga fonksiyonu kullanılacaktır. Yapılacak olan uygulamada ikincil bileşen yani yankı normal bir dikdörtgen penceresiyle çeşitli oranlarda kesilecektir. Kesildikten sonra kalan kısım üzerinden üç farklı kepstrum alınarak sonuçları üzerine kesme etkisi değerlendirilecektir. Yankı üzerinde kesilme miktarı küçükten büyüğe doğru uygulanacaktır. Yapacağımız uygulamada kaynak fonksiyonunun genliği $a = 1$ olan yalın bir Berlage fonksiyonu, yankının ise genliği $a = 0.7$ olan ve kaynağa göre 8 sn geciktirilmiş bir Berlage fonksiyonundan oluşturulacaktır. Ortalama olarak bir Berlage fonksiyonu 5 sn kadardır. 8 sn'lik gecikmede üstüne eklendiği zaman başlangıçtan itibaren 13 sn'ye kadar olan pencerelemede kepstrum üzerinde hiçbir etkinin olmaması gerekmektedir.



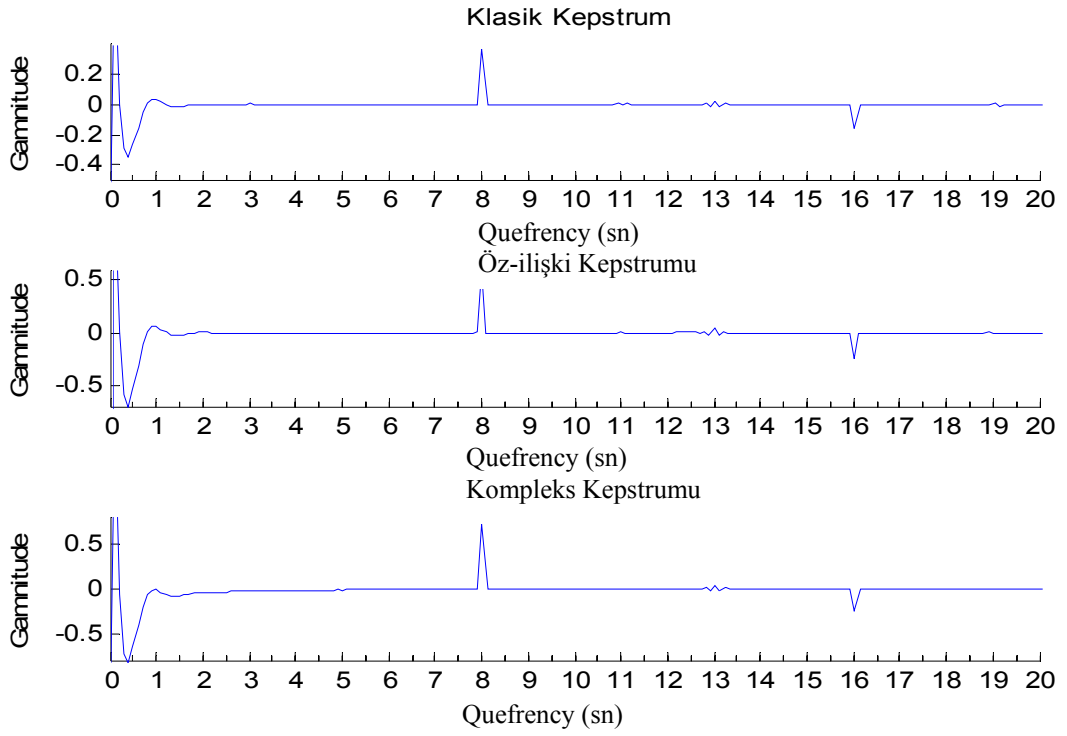
Şekil 127. a) İki adet sinyalden oluşan toplam sinyal, b) 14 sn'lik dikdörtgen pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



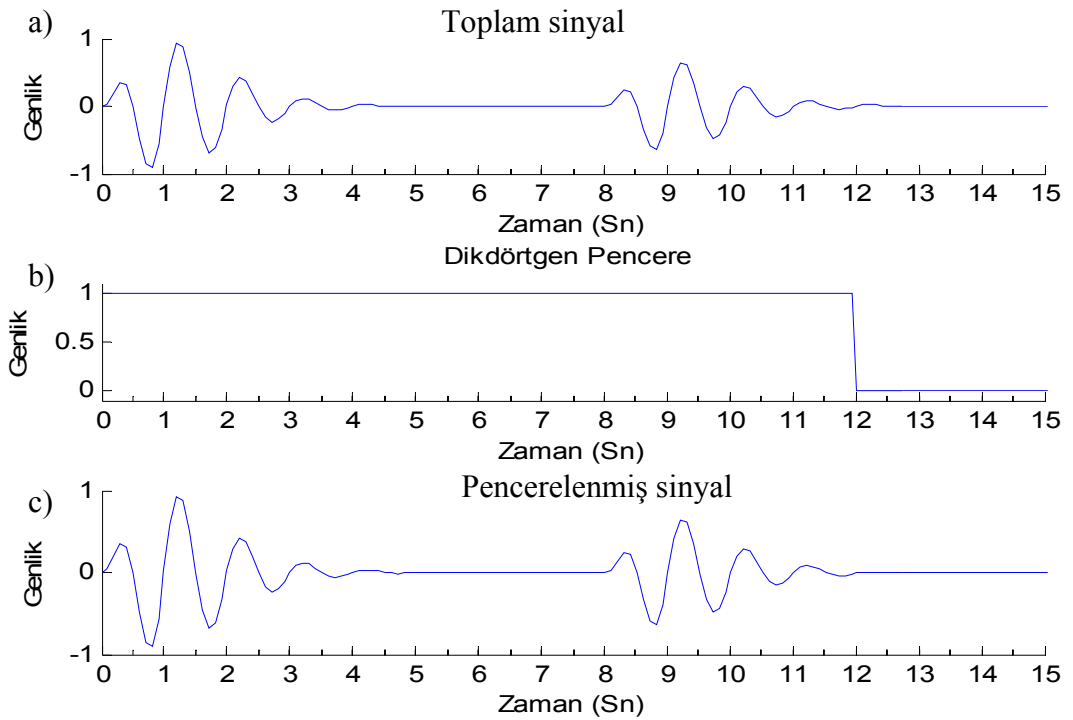
Şekil 128. Şekil 127 c’de oluşturulmuş olan 14 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



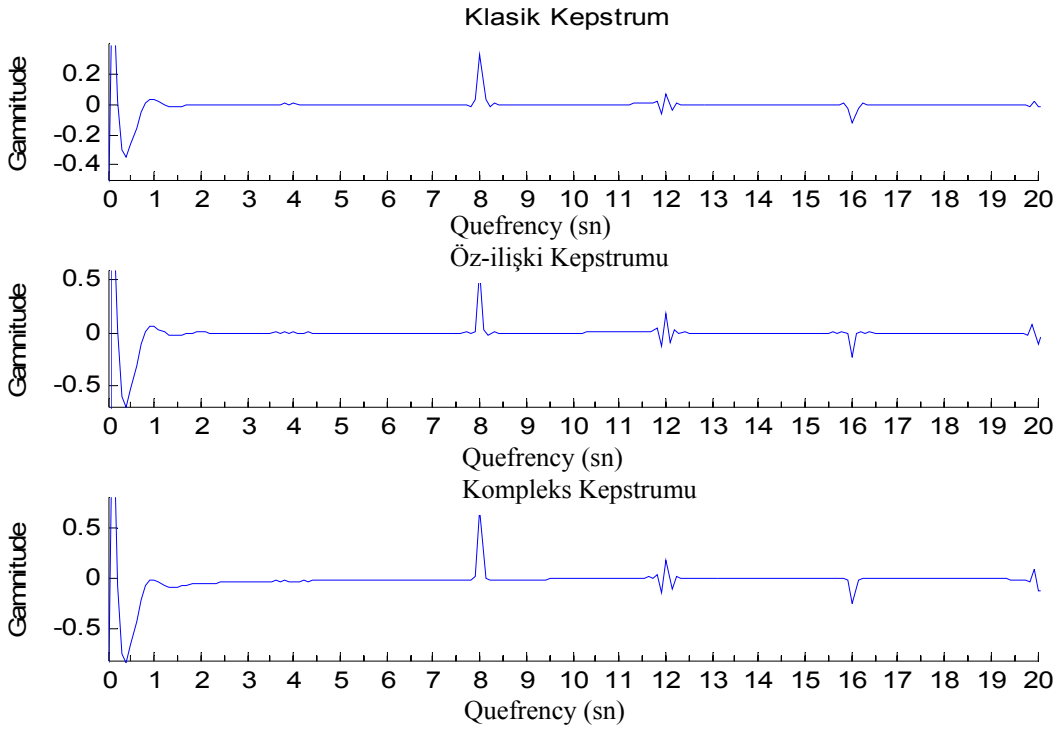
Şekil 129. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 13 sn’lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



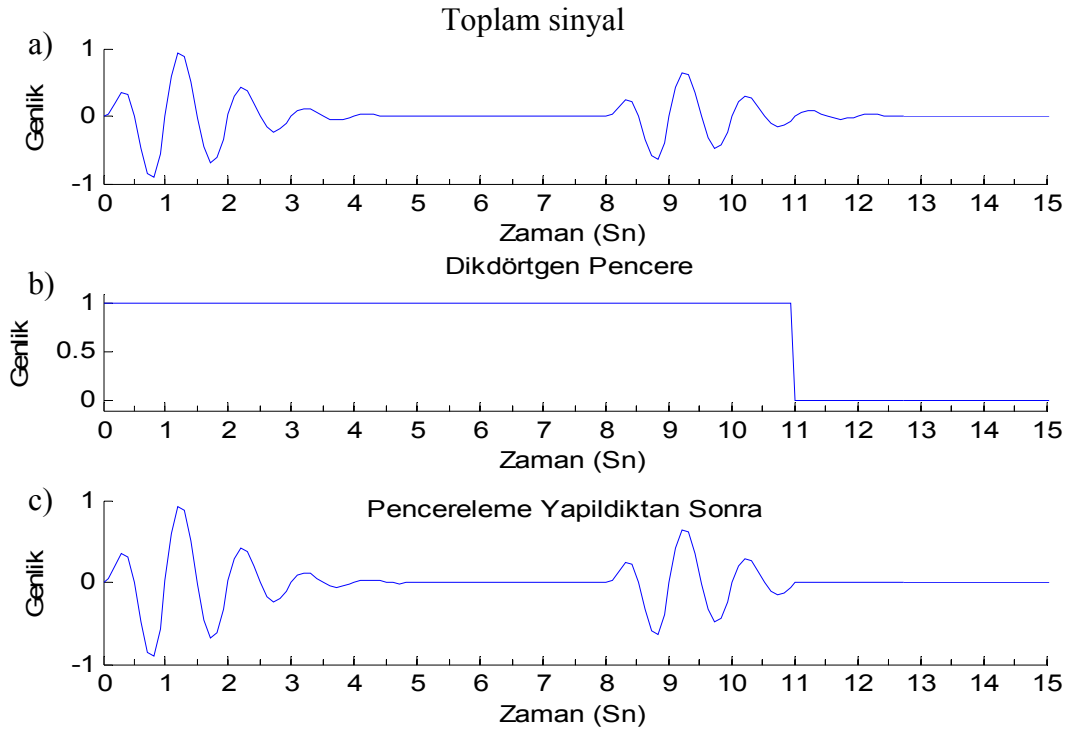
Şekil 130. Şekil 129’da oluşturulmuş olan 13 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



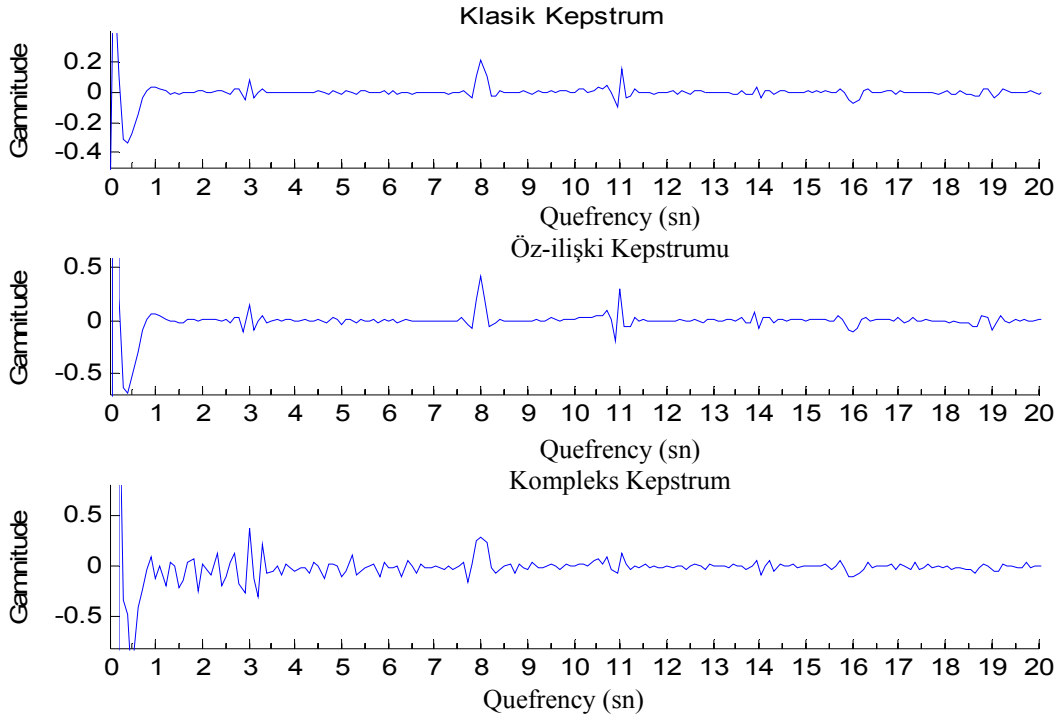
Şekil 131. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 12 sn’lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



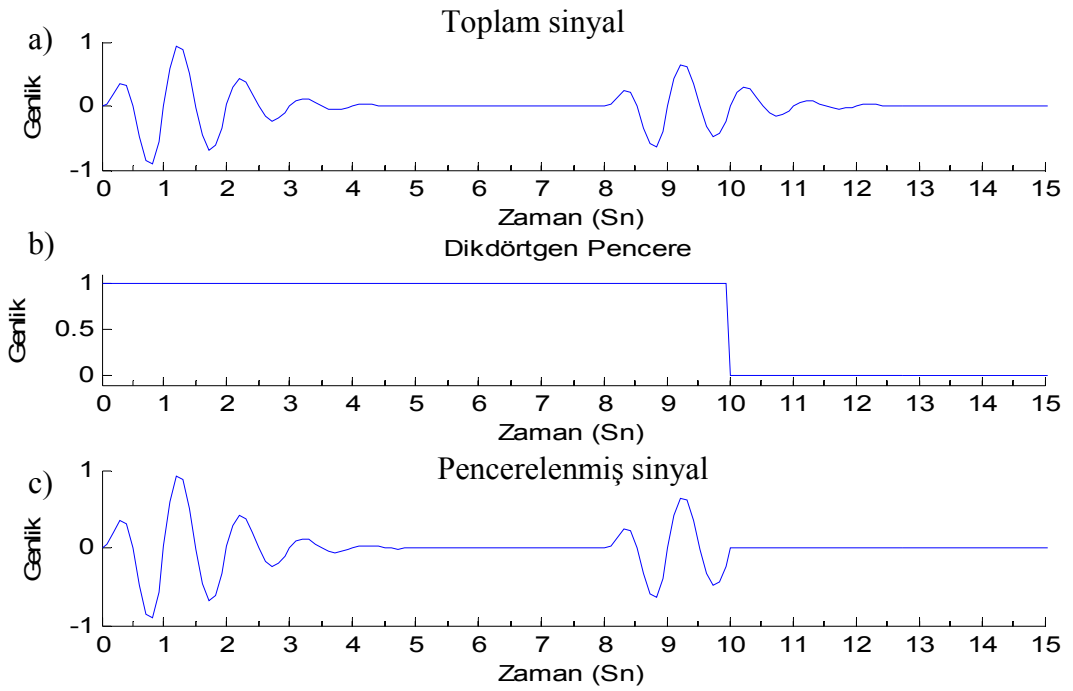
Şekil 132. Şekil 131’de oluşturulmuş olan 12 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



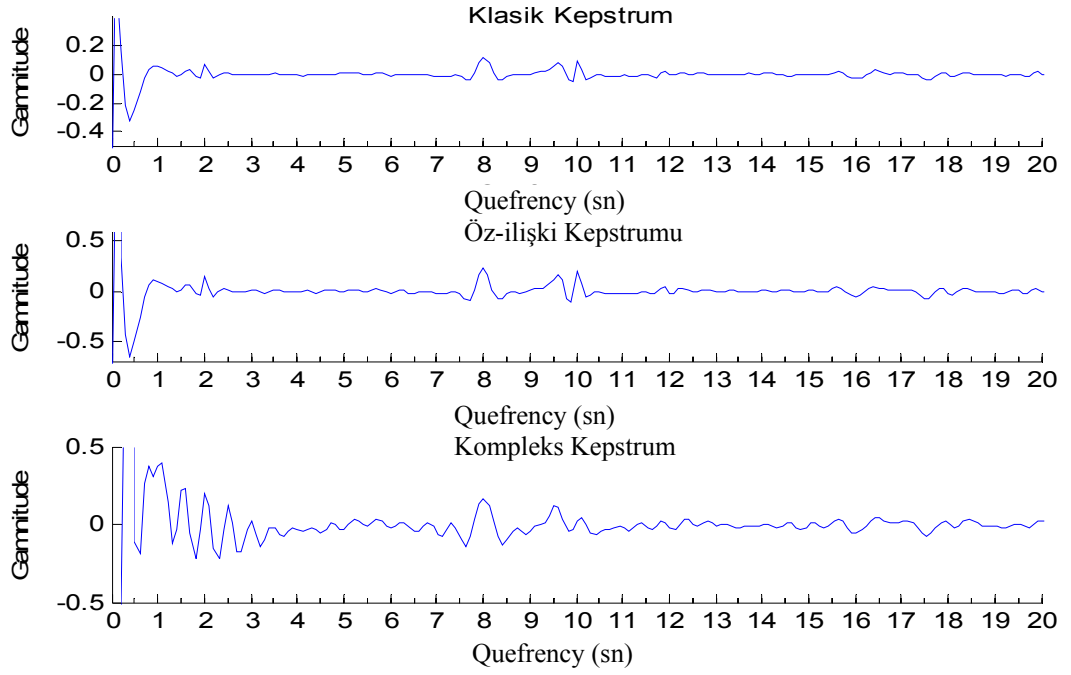
Şekil 133. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 11 sn’lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelemiş sinyal



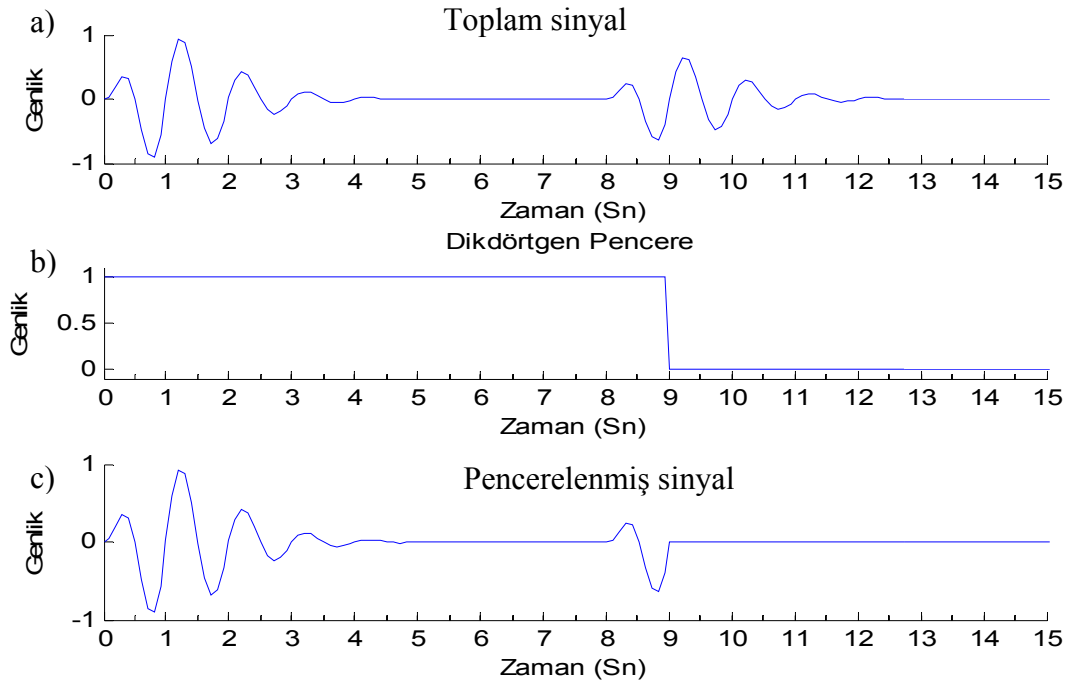
Şekil 134. Şekil 133’de oluşturulmuş olan 11 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



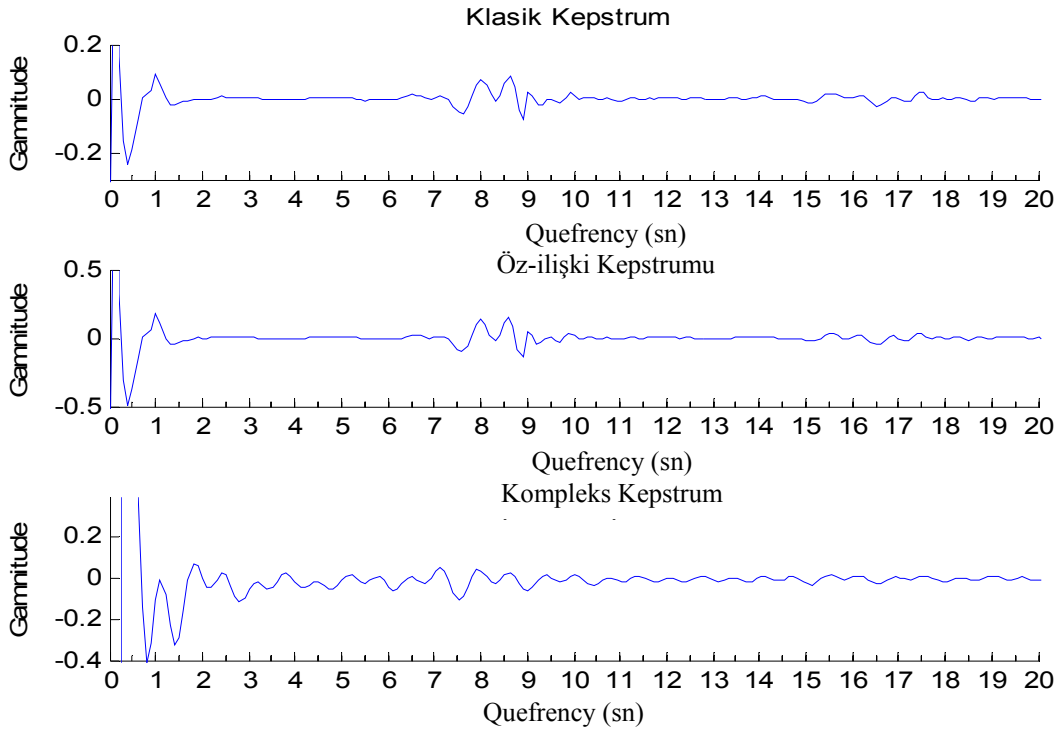
Şekil 135. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 10 sn’lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki hali, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



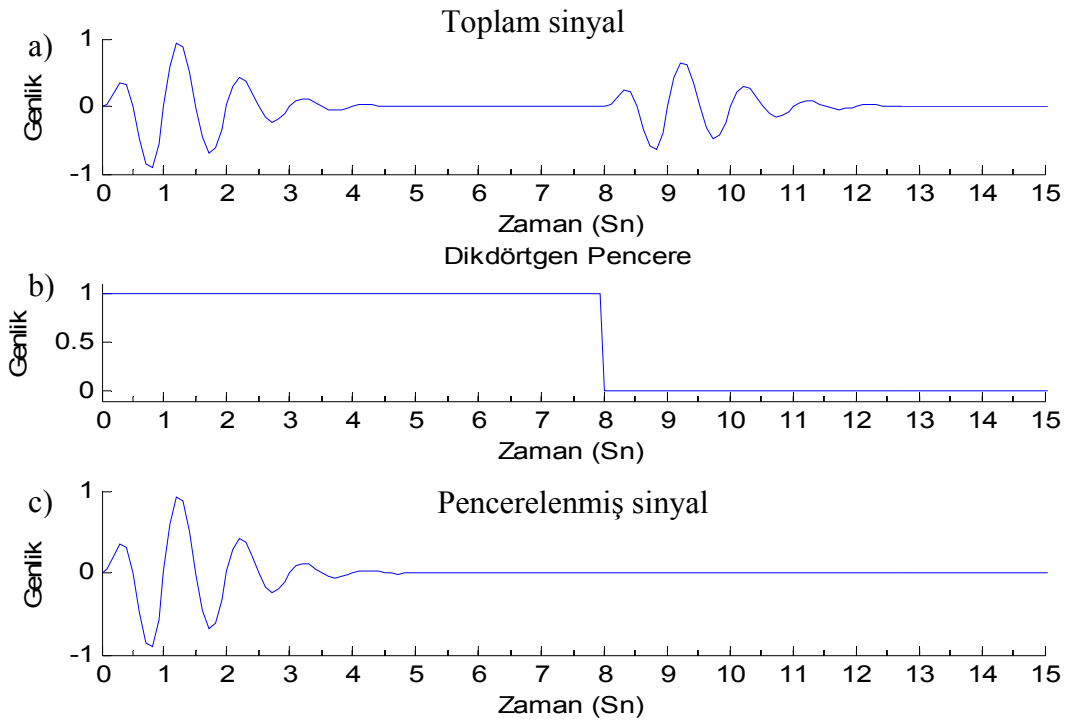
Şekil 136. Şekil 135'te oluşturulmuş olan 10 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



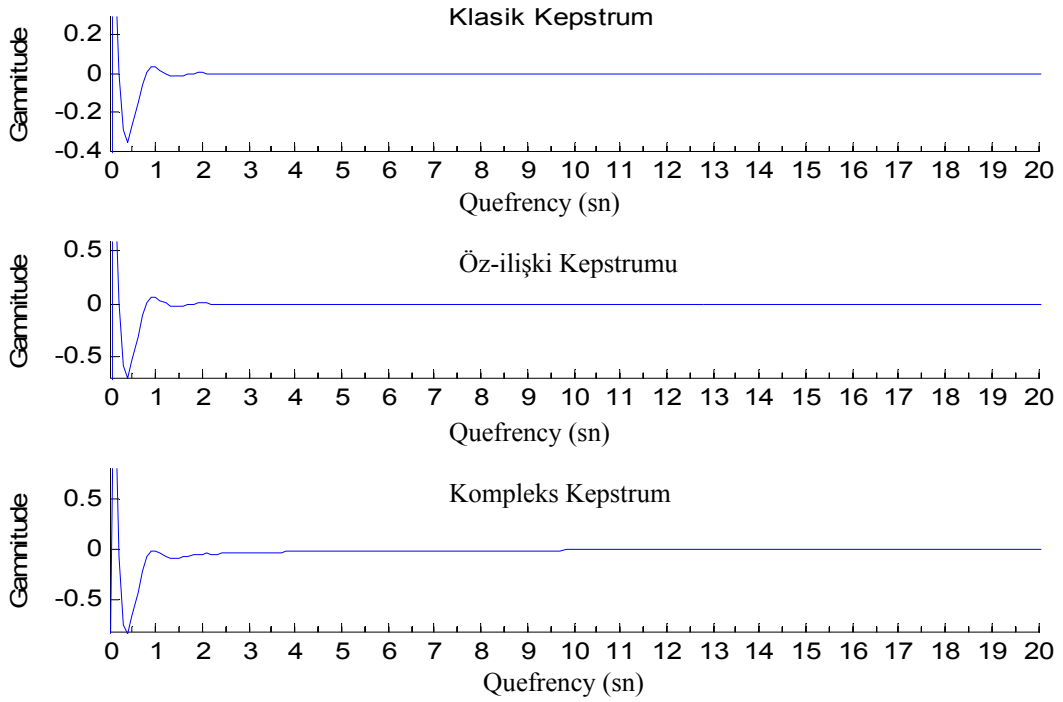
Şekil 137. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 9 sn'lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki halı, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



Şekil 138. Şekil 137’de oluşturulmuş olan 9 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları



Şekil 139. Girişmiş dalga formunun oluşturulması ve 8 sn’lik pencere fonksiyonuyla çarpıldıktan sonraki halı, a) 8 sn gecikmeli 2. dalgacığın toplanması, b) Pencere fonksiyonu, c) Pencerelenmiş sinyal



Şekil 140. Şekil 139’da oluşturulmuş olan 8 sn boyunda bir pencere ile kesilmiş sinyalin kepstrum sonuçları

Berlage fonksiyonu ortalama 5 sn’lik bir fonksiyon olduğu için 8 sn’ik gecikme ile birlikte kaynaktan yaklaşık 13 sn sonra toplam sinyal sona ermektedir. İlk pencereleme olarak dikdörtgen penceresinin boyu 14 sn’lik olarak alınmıştır (Şekil 127). Sinyalin Şekil 127’deki gibi dikdörtgen bir pencereyle pencerelenmesi sonucu iki Berlage fonksiyonundan oluşan girişmiş dalgacığın tüm bileşenleri pencere içerisinde kalmıştır. Bu şekildeki dalgacığın alınan kepstrum sonuçlarında hiçbir olumsuz etki görülmemektedir (Şekil 128). Elde edilen delta fonksiyonları keskin ve beklenen gecikme zamanı değerlerinde bulunmaktadır.

Pencere boyunun 13 sn’ye düşürülmesiyle pencerelenmiş dalga şekli için hesaplanan kepstrum sonuçlarında beklenen gecikme değerlerinde delta fonksiyonlarının görülmesi dışında 13 sn’de yalancı bir etki de görülmektedir (Şekil 129, Şekil 130). Bu durum pencere boyunun 13 sn’de kesilmesinden kaynaklanmaktadır.

Yalancı etkileri Şekil 131’deki 12 sn’lik pencere boyu için hesaplanan kepstrum sonuçlarında daha açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 132). 8 sn’lik gecikme zamanı delta fonksiyonları dışında 12 sn’de pencereden kaynaklanan yalancı bir etki bulunmaktadır.

Pencere boyunun 11 sn olarak ayarlanmasıyla elde edilecek dalga şekli Şekil 133'te verilmiştir. Burada pencereden kaynaklanan etkiler çok daha fazla olmaktadır. 11 sn'de yalancı genliğin dışında yankının 8 sn'lik gecikmesinden kaynaklanan beklediğimiz delta fonksiyonu ile pencere boyu 11 sn'nin arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülen 3 sn'de belirti görülmeye başlanmaktadır (Şekil 134).

Aynı durum 10 sn'lik ve 9 sn'lik pencere boyları içinde görülmektedir (Şekil 135, Şekil 137). Bu şekilde pencerelenmiş verilerin kepstrum sonuçları Şekil 136, Şekil 138'de gösterilmiştir. Şekil 135, Şekil 137'deki pencere boyları için, yankının büyük bir çoğunluğunu kestikleri için kaynakla olan benzerlikler önemli oranda azalmış ve bu da kepstrum ortamında iyi sonuçlar alınmasına engel olmuştur. Bu şekilde kesilmeler ile kepstrum ortamında küçük yalancı genlikler artmakta ve aranılan gecikme farkının bulunması zorlaşmaktadır.

En son olarak pencere boyunun 8 sn olarak hazırlanmasıyla pencerelenmiş dalga fonksiyonu Şekil 139'da gösterilmiştir. Bu şekilde pencereleme ile 8 sn geciktirilen yankı tamamen yok edilmiştir. Bunun sonucunda sadece kaynak fonksiyonu geriye kalmıştır. Bu fonksiyonun kepstrumu alınmasıyla beklendiği gibi hiçbir genlik değeri gözükmemektedir (Şekil 140). Buradan da şu sonuç çıkarılabilir: Aranılan dalga fazlarının sismograf kayıtları üzerinde kabaca bilinmesi gereklidir. Eğer kayıtlar uygun bir pencere boyuyla kesilmemişse aranılan dalga fazına ait bilgide yitirilebilir. Bu durum kepstrum sonuçları üzerinde bozucu bir etki yaratmaktadır. Yapılacak pencereleme çalışmasında değişik birkaç pencerenin kullanılmasıyla çözüm için daha güvenilir sonuçların elde edilmesine katkıda bulunabilir.

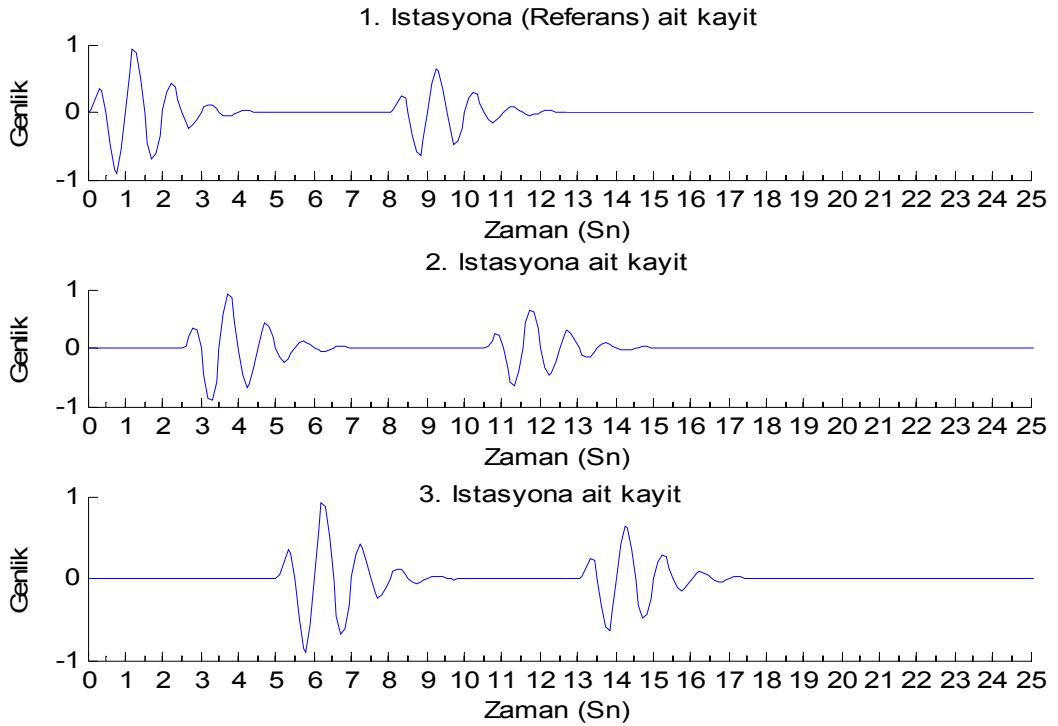
2.1.4. Kepstral F-İstatistik Uygulamaları

Bölüm 1’de kepstral F-istatistiğin teorik esasları verilmiş, burada yapay modeller için çeşitli uygulamalar yapılacaktır. Yapılan bu çalışmada üç istasyona ait durum göz önüne alınmıştır. Öncelikle tek istasyon için kaynak ve yankısından oluşan girişime uğramış bir toplam sinyal şekli hazırlanmıştır. Bu dalga formunun hazırlanmasında yine Berlage fonksiyonundan yararlanılmıştır. Oluşturulan girişmiş dalga özellikleri için; kaynak dalgacığının genliği $a = 1$ ve merkez frekansı 1 Hz olup, sıfır faz kaymasına sahiptir. Bunun yankısı yani girişmiş dalgacığın ikinci bileşeni, genliği $a = 0.7$, merkez frekansı 1 Hz ve sıfır faz kaymasına sahiptir. Bu şekilde diğer iki istasyon için de yapay veriler oluşturulmuştur. İstasyonların konumsal farklılıkları nedeniyle ortak bir istasyon referans alınarak, diğer iki istasyona gelen dalgaların geliş zamanları bu referans istasyonuna göre düzgünleştirilmiştir. Yapılan bu düzenlemelerden sonra tüm istasyonlar için klasik kepstrum değerleri hesaplanmıştır. Her üç istasyonda toplam sinyallerin kepstrumları hesaplanıp toplanarak mutlak değerleri hesaplanıp çizdirilmiştir. Bulunan bu kepstrum değerine “toplam mutlak değer kepstrumu” adı verilmiştir. Daha sonra üç istasyona ait verinin kepstrum değerlerinin ortalaması alınarak ortalama bir kepstrum değeri elde edilmiştir. Ortalama kepstrum değerinin mutlak değeri alınıp ve istasyon sayısı ile çarpılarak “tekil kepstrum” adı verilen sonuç bulunmuştur.

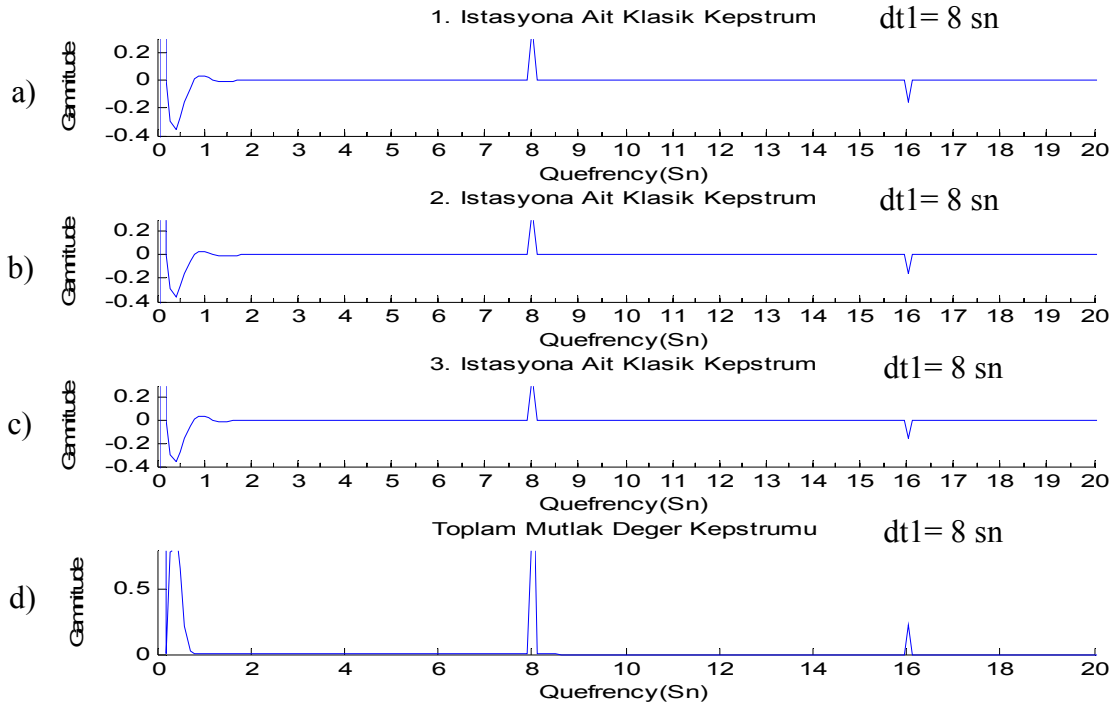
Yukarıda anlatılan durum gürültü içermeyen yapay veriler üzerindeki durum için açıklanmıştır. Kuşkusuz gerçekte sismograf kayıtlarında bu şekilde gürültüsüz verilerle karşılaşmak güçtür. Bu yüzden uygulamanın ikinci adımı olarak verilere %10 oranında normal dağılımlı (beyaz gürültü) gürültü eklenerek çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Son olarak elde edilecek olan gürültülü veri sonuçlarının iyileştirilmesi nasıl yapılabilir? Sorusunun cevabı araştırılmıştır. Bu amaçla gürültüyü en aza indirmek için pencereleme ve süzme işlemleri yapılmıştır. Tüm elde edilecek sonuçlardan kepstral F-istatistik hakkında genel bir yorumlama yapılarak gerçek veriler üzerinde nasıl bir iyileştirme yapılabileceği irdelenmiştir.

2.1.4.1. Gürültüsüz Veriler Üzerinde Kepstral F-istatistik Uygulaması

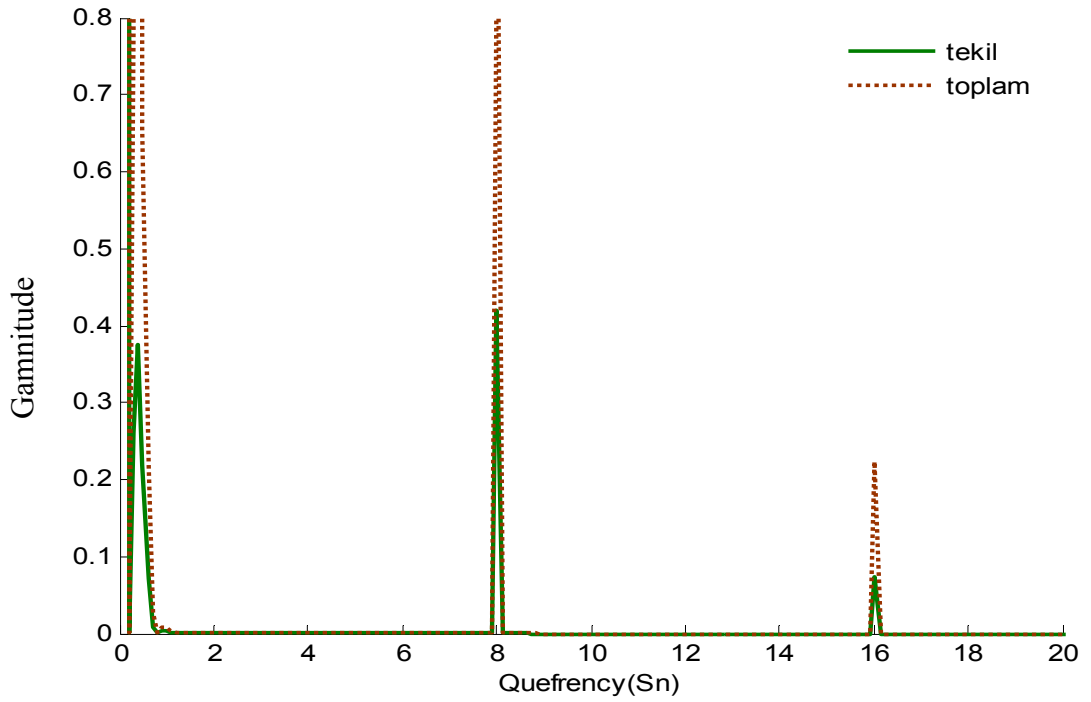
Başlangıç olarak hiçbir gürültü ve olumsuzluk içermeyen yapay veriler için kepstral F-istatistik sonuçları incelenmiştir. Yukarıda anlatıldığı gibi bir kaynak ve yankısından oluşan 2 adet toplam sinyale ait üç farklı istasyon için kepstral F-istatistik hesaplanmıştır. İki sinyal arasındaki gecikme zamanı 8 sn ve 3 sn olan iki farklı model için hesaplanan sonuçlar gösterilmiştir. Gecikme zamanı 8 sn olan toplam dalga için kayıt üzerinde net bir ayırım yapılabilmektedir. Fakat kepstral F-istatistikle de bu sonucun görülebilirliği araştırılmıştır. Gecikme zamanı 3 sn için zaman ortamındaki kayıt üzerinden göz ile bir ayırım yapılması zordur. Bu da amaçlanan, girişim yüzünden birbiri içine girmiş dalga fazlarının arasındaki gecikme zamanının bulunmasıdır. Bu yüzden kepstrum hesaplarından bulunan sonuçlar bir ileriki aşama olan kepstral F-istatistik ile daha güçlü ve göz ile daha rahat ayırt edilebilir bir hale getirilmiştir.



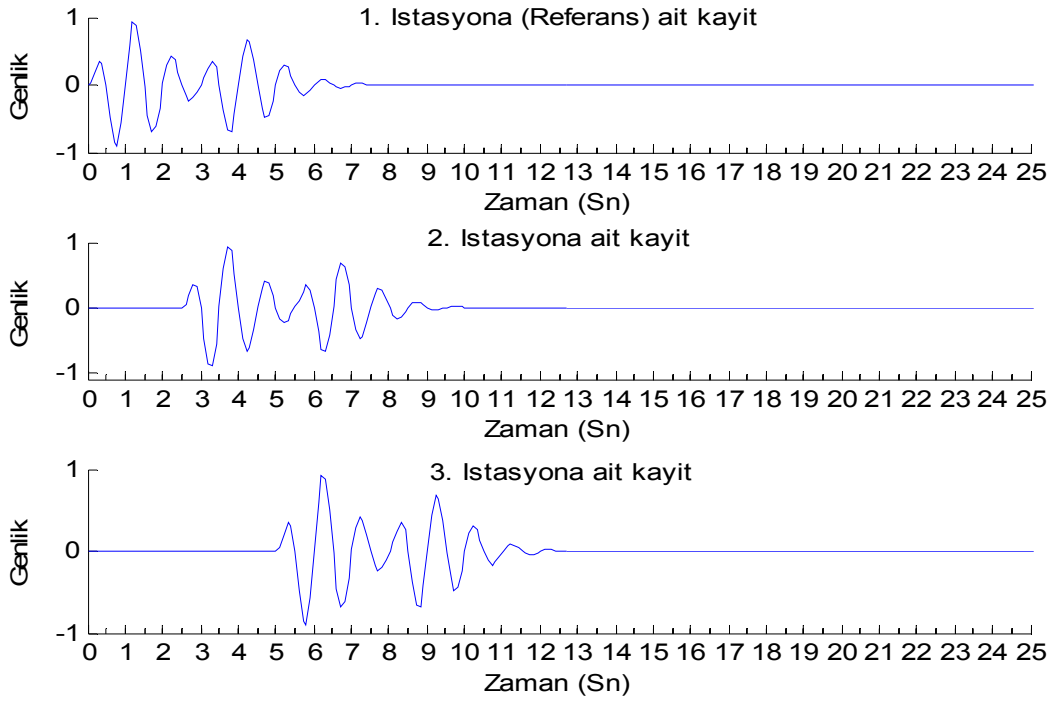
Şekil 141. Üç istasyona ait yapay sismogram (gecikme zamanı 8 sn)



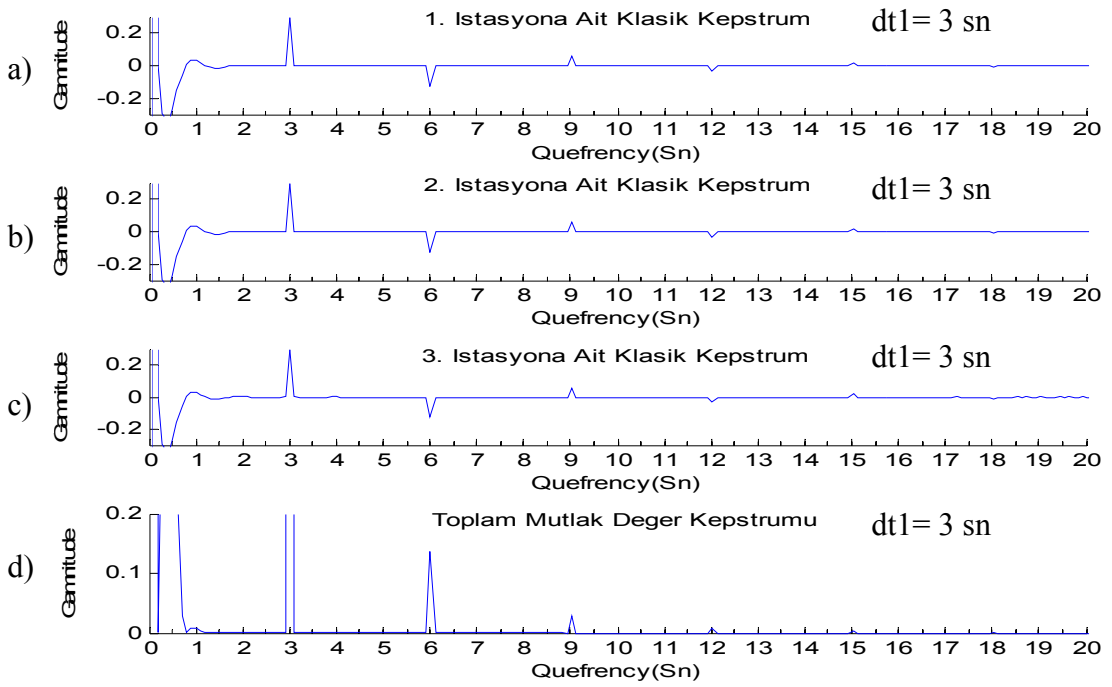
Şekil 142. Şekil 141'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı



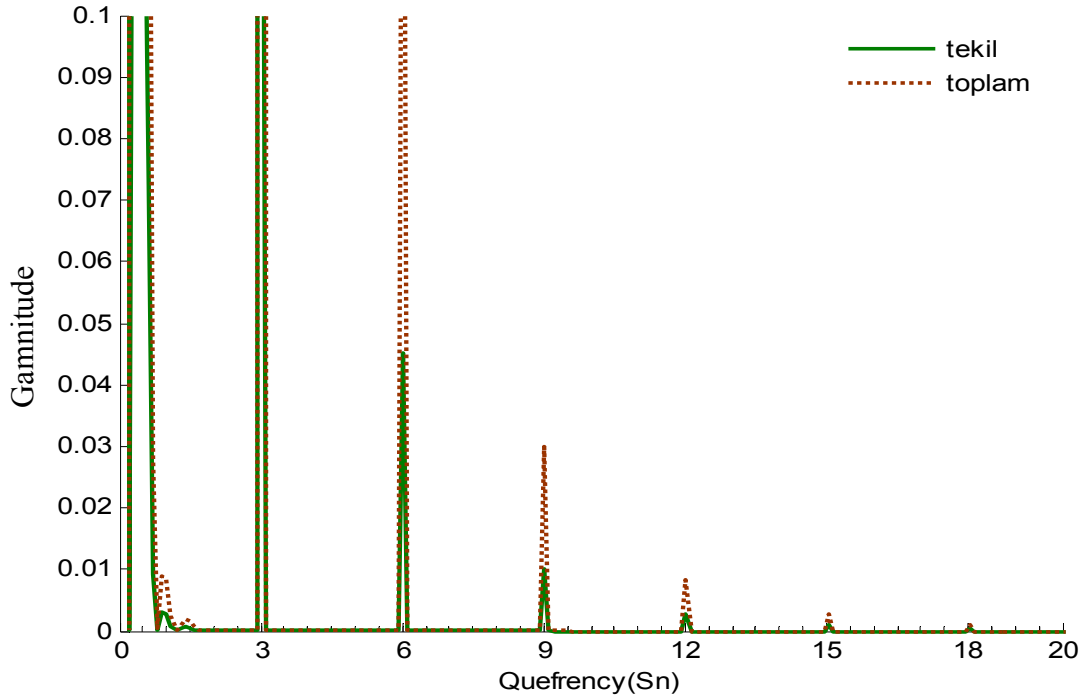
Şekil 143. Şekil 141'deki modele ait yapılan kepstral F-İstatistik sonucu



Şekil 144. Üç istasyona ait yapay sismograf kaydı (gecikme zamanı 3 sn)



Şekil 145. Şekil 144'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı



Şekil 146. Şekil 144'deki modele ait yapılan kepsral F-İstatistik sonucu

Şekil 141'de 3 farklı istasyonda kayıt edilmiş iki adet sinyalden oluşan ve 8 sn'lik gecikmeye sahip bir girişmiş sinyal görülmektedir. Her bir istasyon depreme göre farklı konumlarda oldukları için istasyonlara geliş zamanlarında farklılıklar gözükülecektir. Burada istasyonlar yerel bir ağ üzerinde oldukları farz edilmektedir. Yani aralarındaki konumsal farklılıklar aşırı değil sadece küçük mesafelerde olmaktadır. Eğer istasyonlar aşırı uzaklıkta olursa iki dalga fazı arasındaki gecikme zamanı her bir istasyon için farklı olacağı için bulunacak sonuç ortak bir sonuçtan uzak olacaktır. Bunun için istasyonların yakın mesafelerde dizildiği yerel bir ağ tarafından alınan verilerin değerlendirilmesi gerekir. Gerçi bu şekilde de fazlar arasında çok küçük gecikme zamanı farkları olacaktır. Fakat istasyonlar arası mesafeler çok küçük olduğu için dalga fazları arasındaki gecikme zamanı farkları da ihmal edilebilir. Bu yüzden kepsrum sonuçlarının yaklaşık her bir istasyon için aynı çıkması gerekmektedir (Şekil 142). Bu tür verilere kepsral F-istatistik kolaylıkla uygulanabilir.

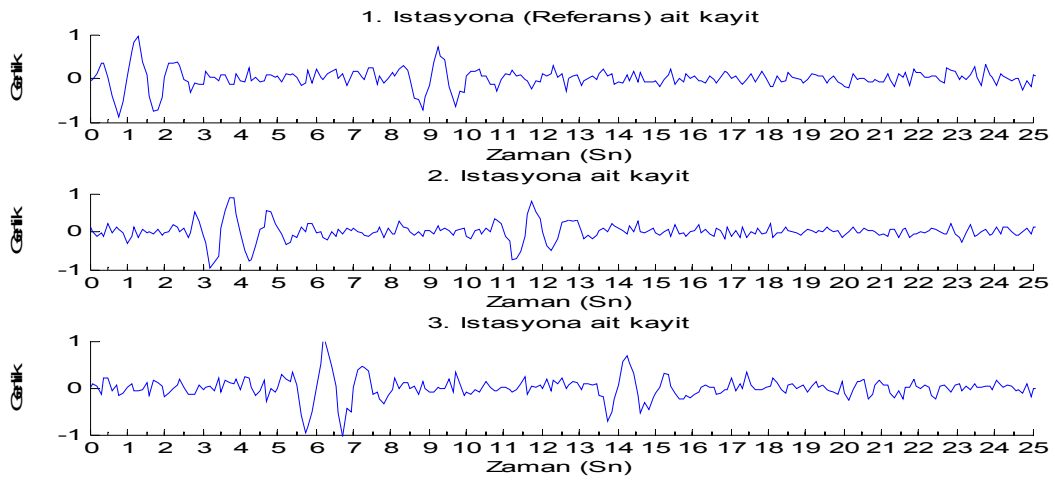
8 sn'lik gecikme zamanı farkı için oluşturulan üç istasyon kaydına ait kepsral F-istatistik sonucu Şekil 143'de görülmektedir. Bu şekilde 8 sn ve 16 sn'deki piklerin genlikleri daha da büyüyerek kolay görünür hale gelmiştir. Bu şekilde üst üste iki farklı kepsrum değerleri çizdirilmiştir. Koyu düz çizgiyle gösterilmiş olan "tekil kepsrum", üç

istasyonda hesaplanan kepstrum değerlerinin mutlak değerce ortalaması alınıp istasyon sayısı ile çarpılarak bulunmuştur. Kesikli çizgiyle gösterilmiş olan ve “toplam kepstrum” olarak isimlendirilen ise, her bir istasyonda bulunan kepstrum değerlerinin üst üste toplanması ve mutlak değerinin alınmasıyla elde edilmiştir. Çıkan sonuçlarından aralarındaki gecikme zamanı farkı rahatlıkla görülebilmektedir. Zaten zaman ortamında her üç istasyon içinde 8 sn’lik gecikmeye sahip iki dalga fazını göz ile ayırımı kolaylıkla yapılabilmektedir.

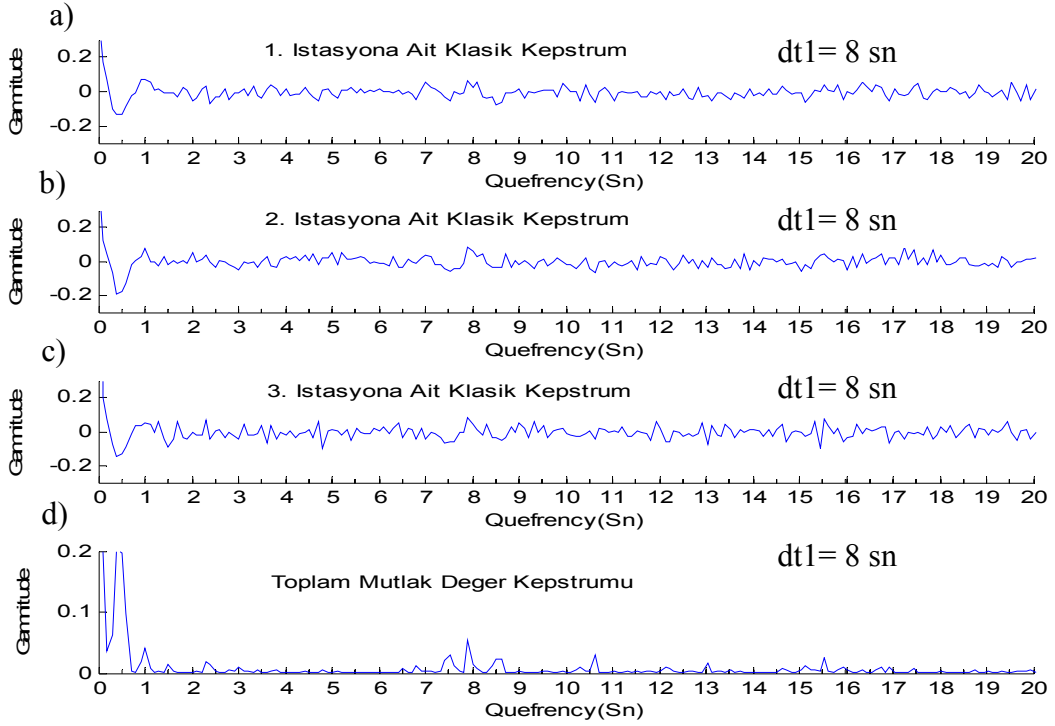
Durumu biraz daha zorlaştırmak için bu defa dalga fazları arasında gecikme zamanı 3 sn olacak şekilde oluşturulan toplam dalga için çözüm aranmıştır. Bu şekilde hazırlanmış veri Şekil 144’de gösterilmiştir. Bunun sonucu Şekil 146’da verilmektedir. Şekil 146’de bulunan grafikte 3 sn ve katlarında belirgin delta fonksiyonları gözlenmiştir. Zaman ortamında iki dalga fazı arasındaki zaman farkı görülemezken kepstral F-istatistik yardımıyla bu ayırım kolaylıkla yapılabilmektedir.

2.1.4.2. Gürültülü Veriler Üzerinde Kepstral F-istatistik

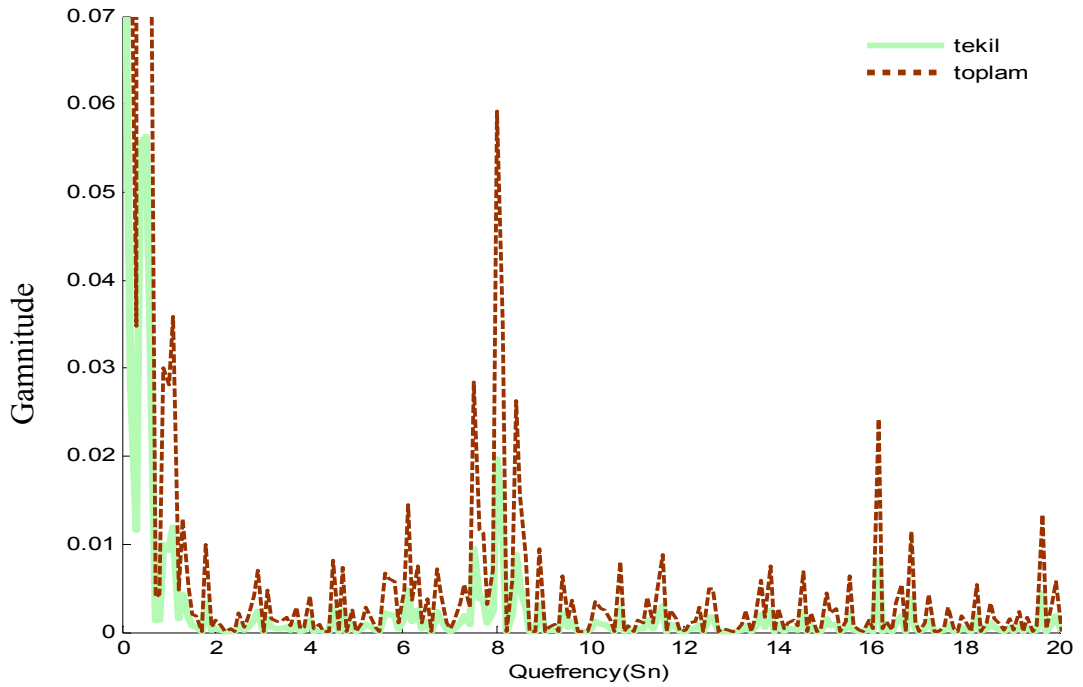
Gürültüsüz olarak ele alınan girişmiş dalga formlarına %10 oranında beyaz gürültü eklenerek yöntemin çözüm yeteneği biraz daha zorlanacaktır. Kullanılacak dalga formları aynen alınmış, sadece en son elde edilen girişmiş dalga bileşeni üzerine %10 oranında beyaz gürültü eklenmiştir.



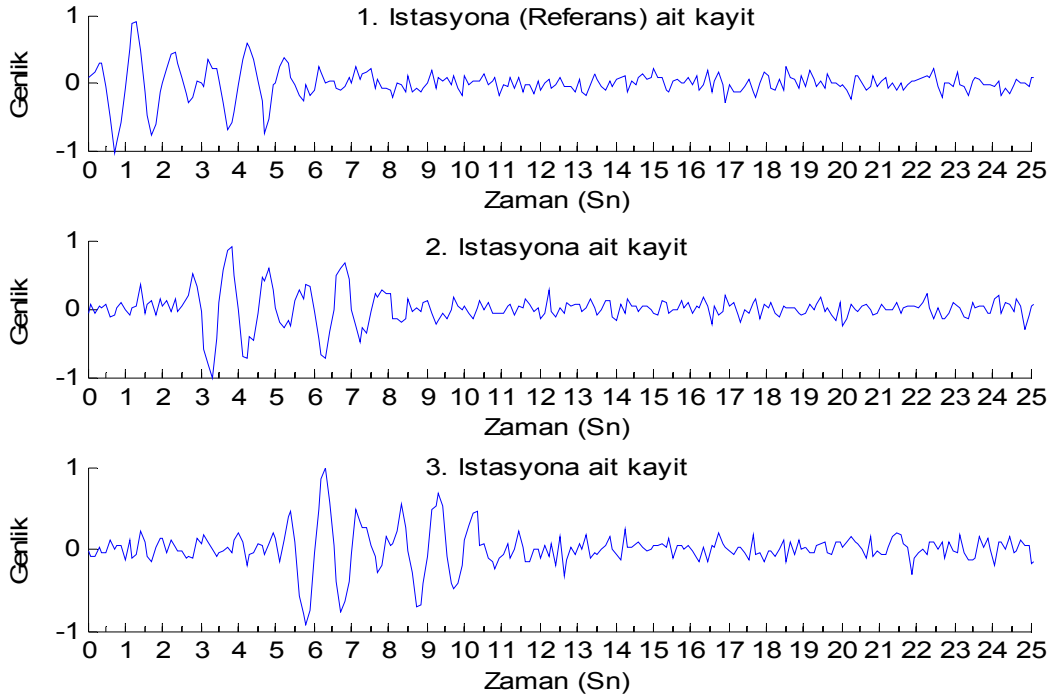
Şekil 147. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogram (yankıya ait gecikme zamanı 8 sn, toplam % 0.05 gürültülü eklenmiş)



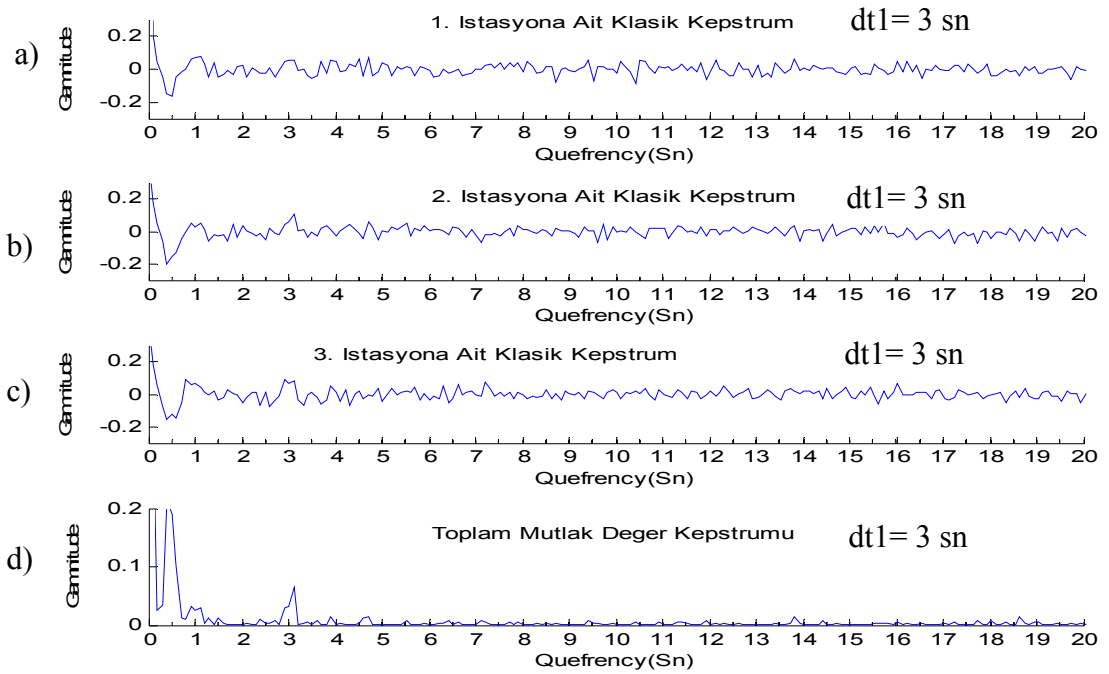
Şekil 148. Şekil 147’deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepsstrumlarının toplamı



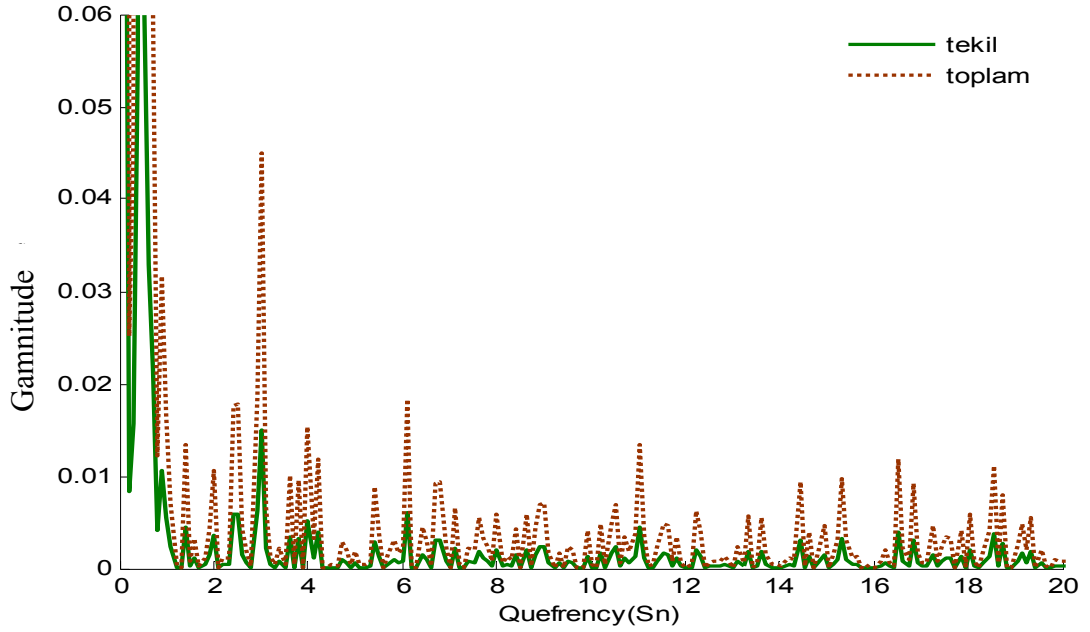
Şekil 149. Şekil 147’deki modele ait kepsstral F-İstatistik sonucu



Şekil 150. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogram (yankıya ait gecikme zamanı 3 sn, toplam %0.05 gürültülü eklenmiş)



Şekil 151. Şekil 150'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı



Şekil 152. Şekil 150'deki modele ait kepstral F-İstatistik sonucu

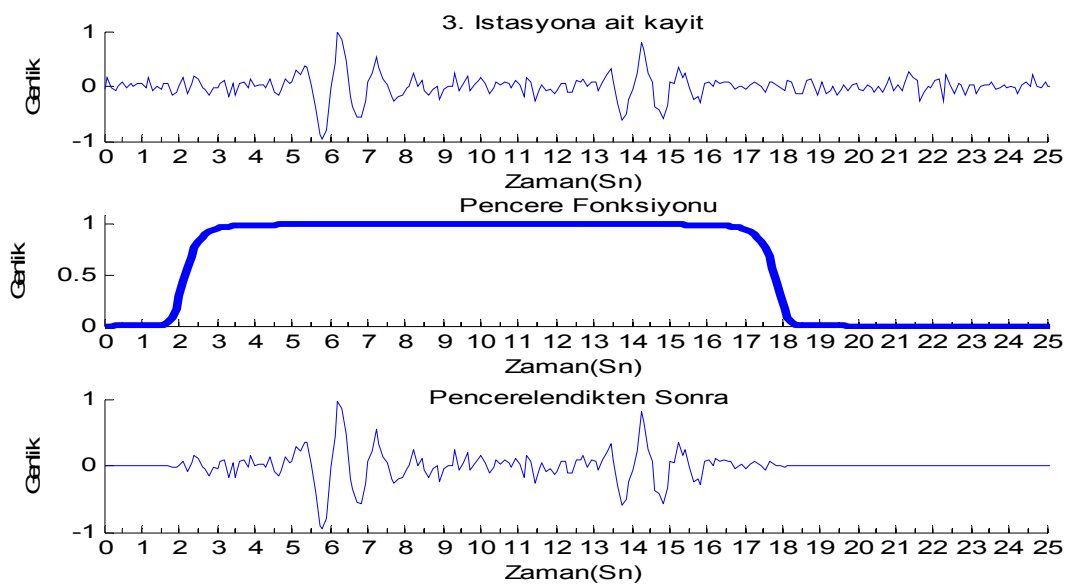
Şekil 147'de %0.05 gürültü içeren 3 farklı istasyon için sinyaller gösterilmiştir. %0.05 gürültü oranının normal kepstrum çalışmalarında uygun çözümler için üst sınırı teşkil edebileceği belirlenmişti. Şekil 147'deki %0.05 gürültü oranına sahip bir verinin kepstral F-istatistik sonucu Şekil 149'da verilmiştir. Şekil 149'a göre normal olarak hesap edilen kepstrum verisine (Şekil 148) oranla kepstral F-istatistiğin her iki "toplam" ve "tekil" kepstrum değerleri daha fark edilebilir bir sonuç vermiştir. Burada 8 sn ve 16 sn'lerdeki delta fonksiyonları beklenen zamanlarda görülmektedir. Bu pikler dışında kalan her bir quefrensy'deki diğer küçük genlikli delta fonksiyonlarının ise gürültüden ileri geldiği düşünülmektedir. Normal kepstruma göre sonuçların daha fark edilebilir çıkmasının sebebi; normale göre kepstrum F-istatistikte yığılmalı bir işlem yapıldığı için rasgele gürültüler yığılma ile büyük ölçüde zayıflatılmış, olması gereken yerdeki pikler de büyütülmüştür. Bu sebepten dolayı gerçek genlikler gürültüler karşısında büyümüş ve belirgin hale gelmiştir.

Şekil 150'de gecikme zamanı 3 sn ve yine aynı oranda (%0.05) gürültü içeren sinyaller gösterilmektedir. Bu dalga formlarına ait kepstrum sonuçları Şekil 151'de görülmektedir. Bu şekilde, ayırım için klasik yaklaşımların yeterli bir sonuç vermediği açıkça görülebilmektedir. Yapılan kepstrum F-istatistik çalışması Şekil 152'de verilmektedir. Bu sonuçtan 3 sn ve 6 sn'de yankı gecikmesine ait pikler ayırt

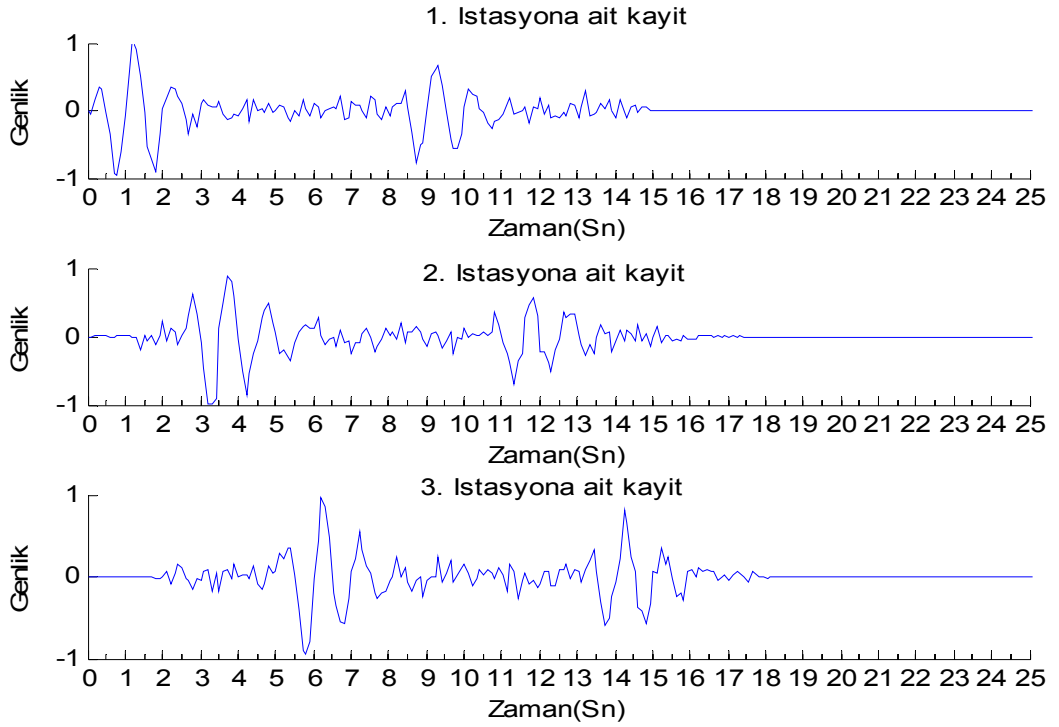
edilebilmektedir. Bu zamandan sonraki tekrarlı pikler gürültünün etkisi altına girerek yeterli bir ayırım için uygun değildir. Buradan kepsral F-istatistik için ikiden daha fazla tekrarlı piklerin pek güvenilir sonuçlar vermeyeceği söylenebilir. Zaten gerekli olan yankılara ait ilk piklerin kesin olarak ayırt edilebilmesidir. Tekrarlı pikler sadece uygulamacının bulunduğu sonuçların doğruluğunun bir kez daha kanıtlanması bakımından önemlidir. Genel olarak gürültülü veriler için kepsrum F-istatistik çalışmaları oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

2.1.4.3. Pencereleme İşlemi Sonrası Kepsral F-istatistik

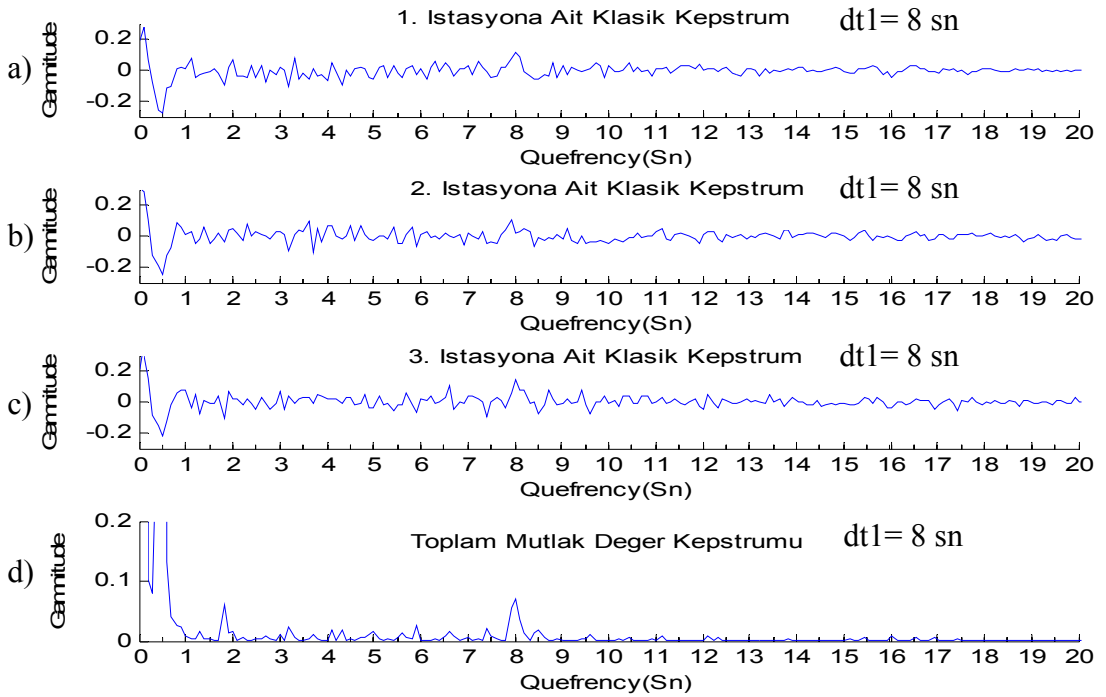
Gürültülü bir sismograf kaydı üzerinde pencereleme yapılarak gürültünün etkisi biraz daha azaltılabilir. Bu şekilde bir uygulamayla sinyalin enerjisi gürültülere oranla biraz daha büyümüş olacaktır. Fakat gecikme zamanlarının tam olarak belirleyebilmek için, zaman ortamında pencereleme yapılırken ilgilendiğimiz sinyallerin başlangıç ve bitiş zamanları çok iyi bilinmelidir. Yanlış pencerelemenin kepsrum üzerine etkileri Bölüm 2.1.3.8’te incelenmişti. Burada yapılmış olan; uygun bir pencere boyuyla veri pencerelendikten sonra kepsral F-istatistik yöntemi sonuçlar üzerinde nasıl bir iyileşme görüleceğidir. Pencere yapılmadan önce ve yapıldıktan sonraki sonuçlar karşılaştırılarak pencerelemenin etkisi araştırılmıştır.



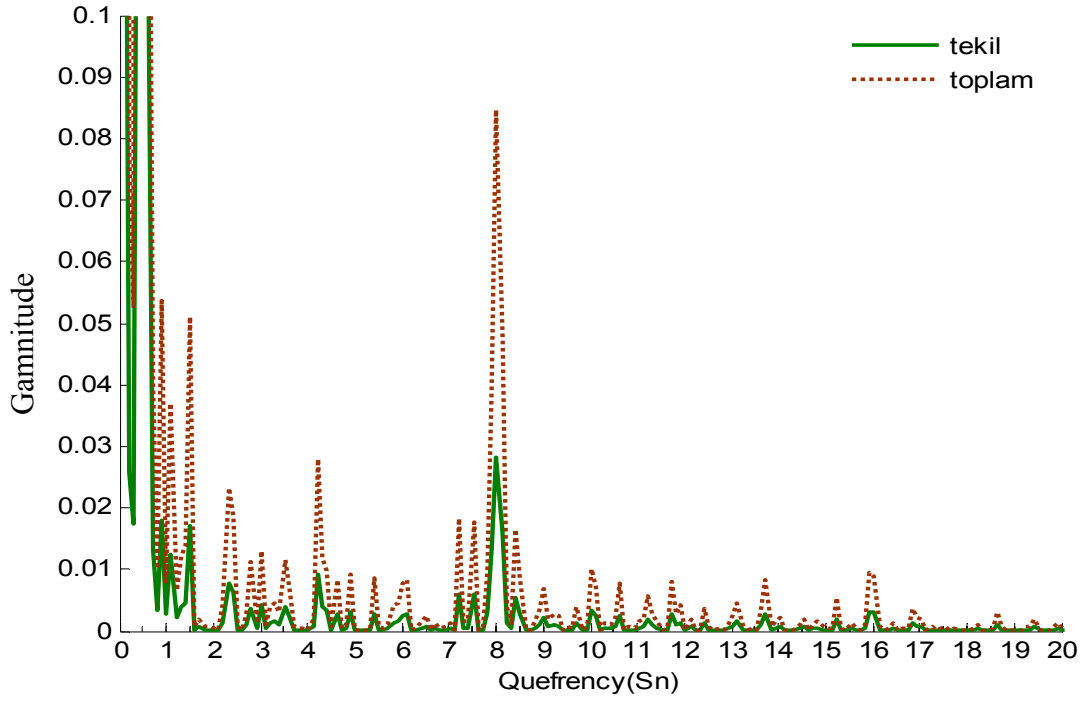
Şekil 153. Üç istasyona ait gürültülü yapay sismogramın Butterworth penceresi ile pencerelenmesi (gecikme zamanı 8 sn, %0.05 gürültülü)



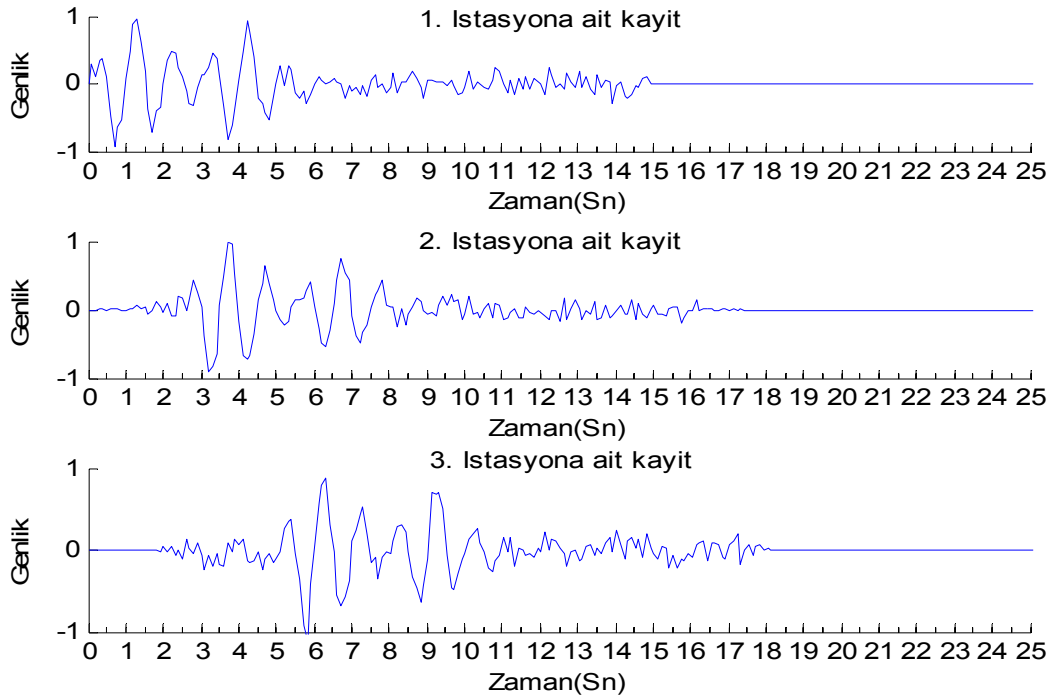
Şekil 154. Üç farklı istasyona ait sinyallerin pencerelelendikten sonra gösterimi



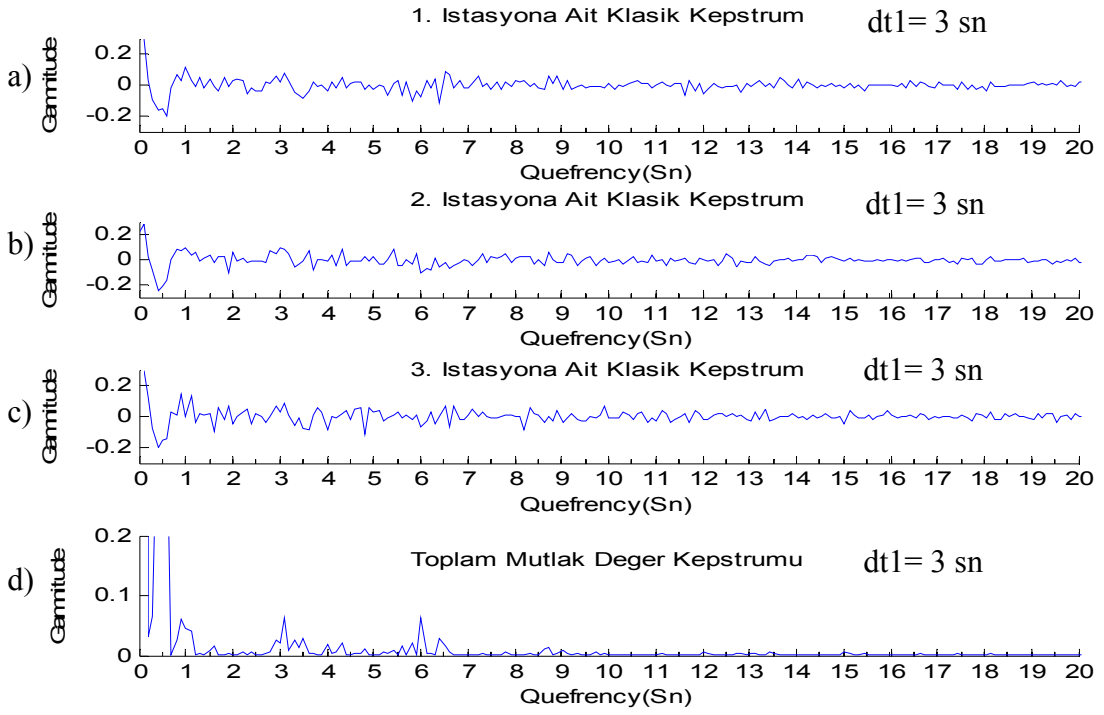
Şekil 155. Şekil 154'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) Tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı



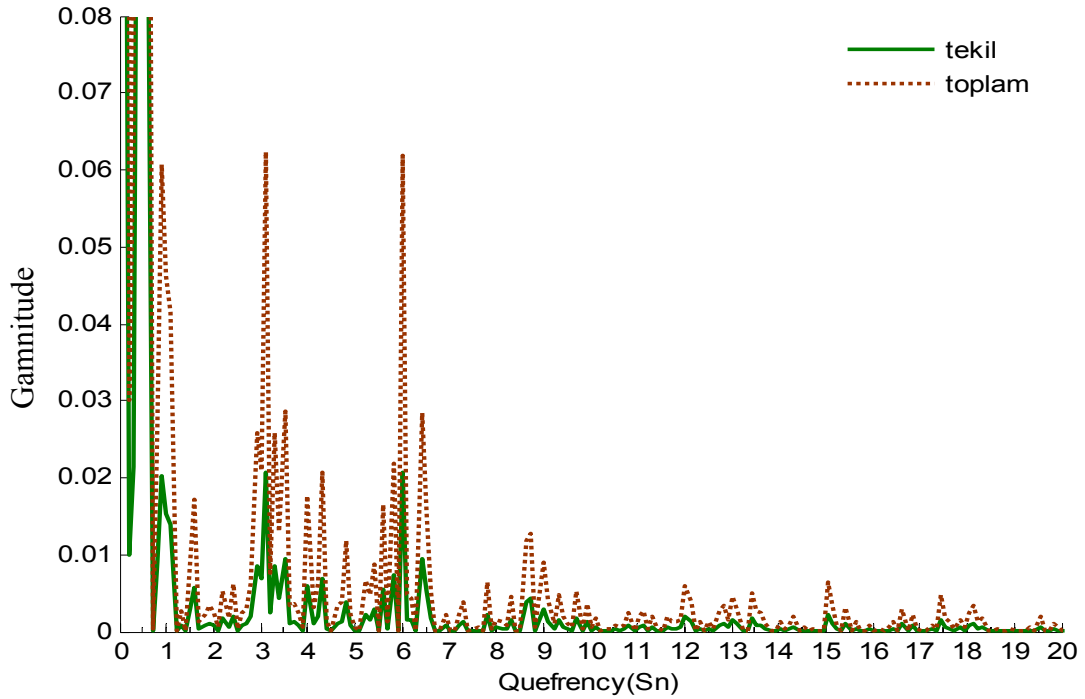
Şekil 156. Şekil 154'deki modele ait kepstral F-İstatistik sonucu



Şekil 157. Üç farklı istasyona ait sinyallerin pencerelelendikten sonra gösterimi (gecikme zamanı 3 sn, %0.05 gürültülü)



Şekil 158. Şekil 157'deki a) 1. istasyon verisi için, b) 2. istasyon verisi için, c) 3. istasyon verisi için, d) Tüm toplam istasyon bileşenlerinin mutlak değer kepstrumlarının toplamı

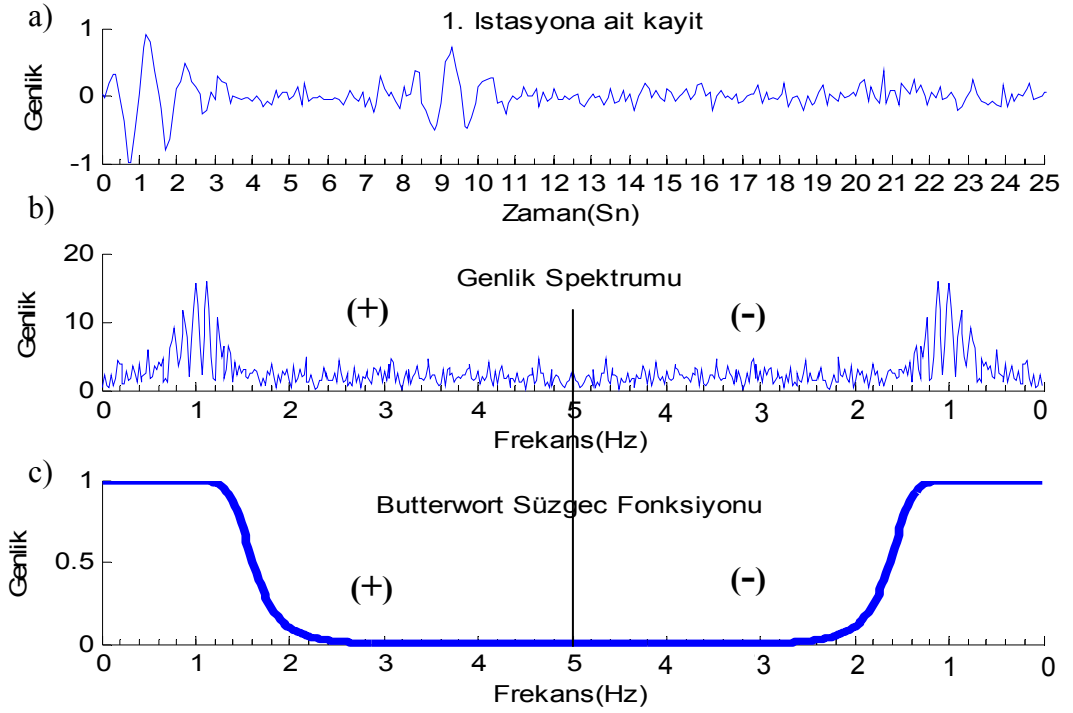


Şekil 159. Şekil 157'deki modele ait kepstral F-İstatistik sonucu

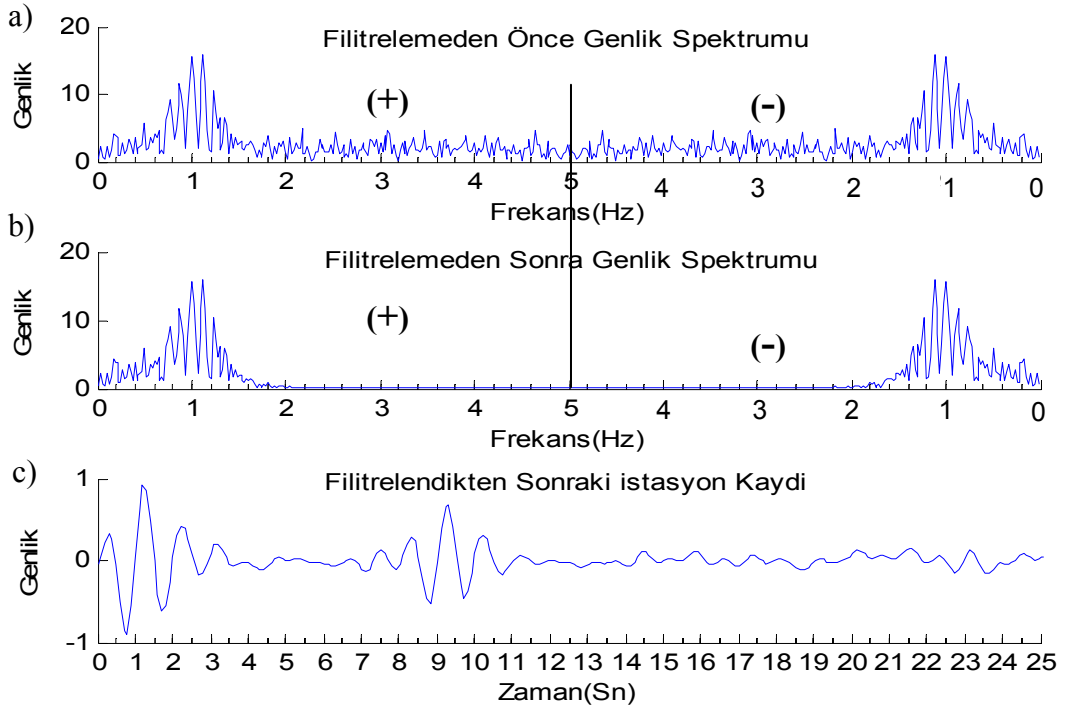
Gürültülü veriler üzerinde pencereleme yapılarak kepsral F-istatistik hesaplanması için üç istasyona ait 8 sn gecikmeli iki sinyalin toplamından oluşan bir dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu dalgalar gürültü oranı %0.05 olan beyaz gürültü eklendikten sonra uygun bir Butterworth penceresiyle pencerelenmiştir. Pencereleme işlemi sadece 3. istasyon için gösterilmiştir (Şekil 153). Diğer istasyonlar içinde benzer bir pencereleme yapıldıktan sonra (Şekil 154) ilk önce Şekil 155'te gösterildiği gibi normal kepstrum çalışmaları yapılmıştır. Şekil 155 d'ye göre 8 sn'deki delta fonksiyonu biraz daha belirginleşmektedir. Şekil 156'da gösterilen kepsral F-istatistik sonucunda 8 sn'deki delta fonksiyonu daha da belirgin hale gelmiştir. 8 sn'nin katı olan 16 sn'deki delta fonksiyonu gürültülerin enerjilerinin azalması nedeniyle daha belirgin bir hal aldığı görülmektedir. Pencereleme işleminin ikinci aşaması olarak üç istasyona ait 3 sn geciktirilmiş iki sinyalin toplamından oluşan dalga şekilleri üzerinde uygulama yapılmıştır (Şekil 157). Şekil 158'de Şekil 157'de gösterilen 3 istasyon için normal kepstrumları gösterilmiştir. Sonuç olarak Şekil 159'daki kepsral F-istatistik grafiğinde 3 sn ve 6 sn'de delta fonksiyonları açıkça görülmektedir. Gürültüler olmasına rağmen pencereleme işlemi sonucu etkileri azaltılmıştır.

2.1.4.4. Filtreleme Sonrası Kepsral F-istatistik

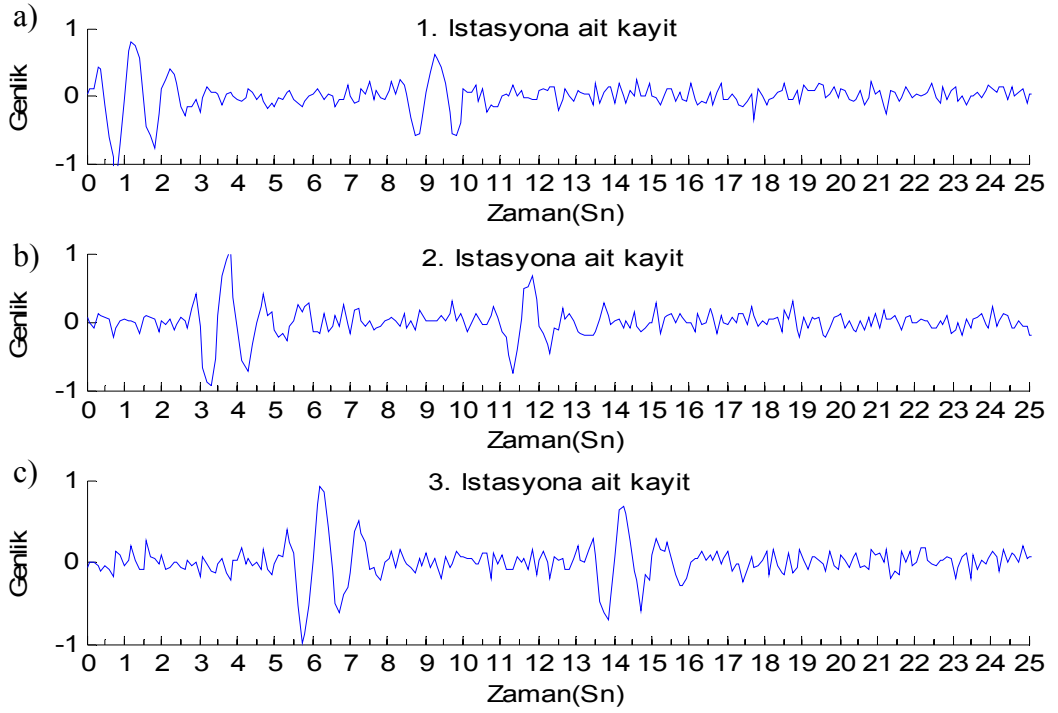
Gürültülü veriler üzerinde pencereleme dışında filtreleme yapılarakta gürültüler sönmlemeye çalışılabilir. Bunun için verinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu ortamında gürültülerin enerji yayılımları incelenmelidir. Hakim olan gürültüler kestirildikten sonra bu gürültülerin süzülmesi için uygun filtrelerle filtrelenebilir. Filtrelenmiş veri tekrar zaman ortamına döndürülerek uygulanan filtrelemeye göre veriden gürültüler atılmış olmalıdır. Daha öncede anlatıldığı gibi kepstrum işlemi gürültüden oldukça etkilenmektedir. Kepstrum alınmadan önce veriden gürültüler ne kadar çok ayıklanabilirse kepstrum sonuçları da o kadar düzgün olacaktır. Yapılan uygulamalar için burada Butterworth süzgeci uygulanmıştır. Gürültünün durumuna bağlı olarak filtre parametreleri değiştirilerek en uygun olanı seçilmiştir. Oluşturulan yapay modeller için yine gürültü oranı %0.05 olan kaynak ve bir yankısından oluşmuş toplam dalga incelenmiştir.



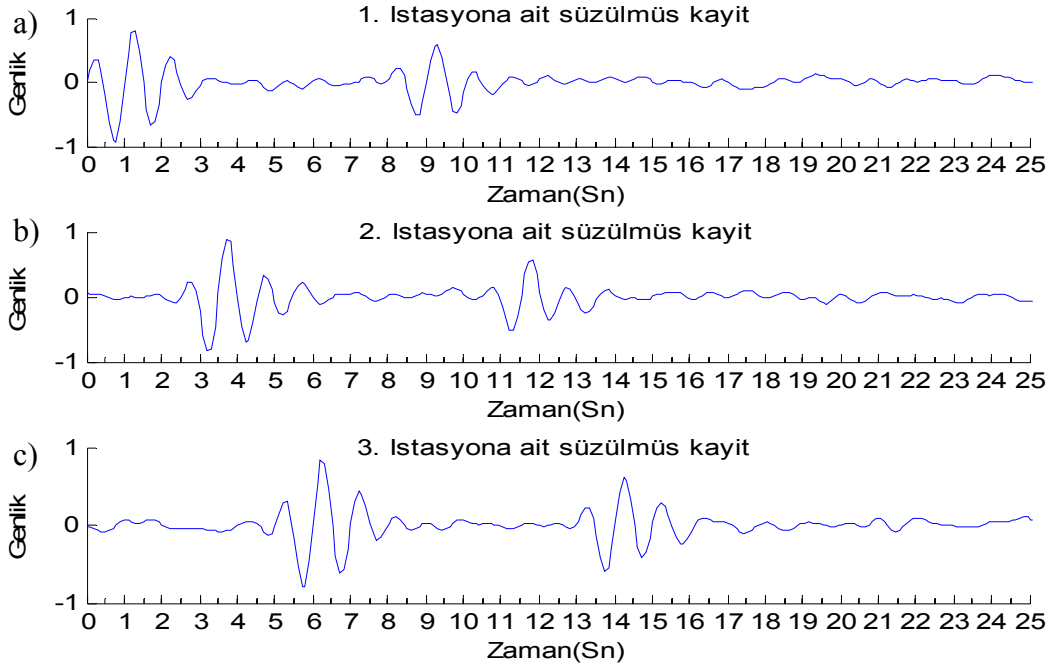
Şekil 160. 1. İstasyon için filtreleme işleminin gösterimi (gecikme zamanı $dt=8$ sn),
 a) 1. istasyon kaydı, b) 1. istasyon kaydının genlik spektrumu,
 c) Butterworth alçak geçişli süzgeci



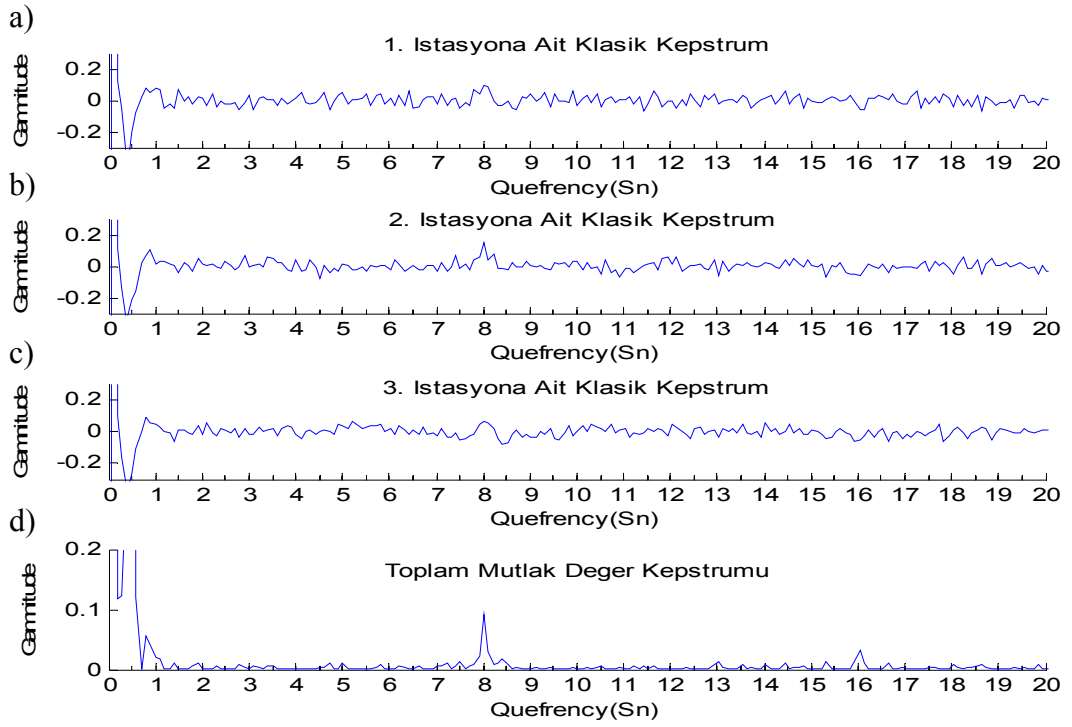
Şekil 161. Filtrelemeden önce ve sonraki genlik spektrumları ve süzölmüş veri,
 a) 1. istasyona ait kaydın genlik spektrumu, b) Filtrelendikten sonraki genlik spektrumu, c) Filtrelenmiş kayıt



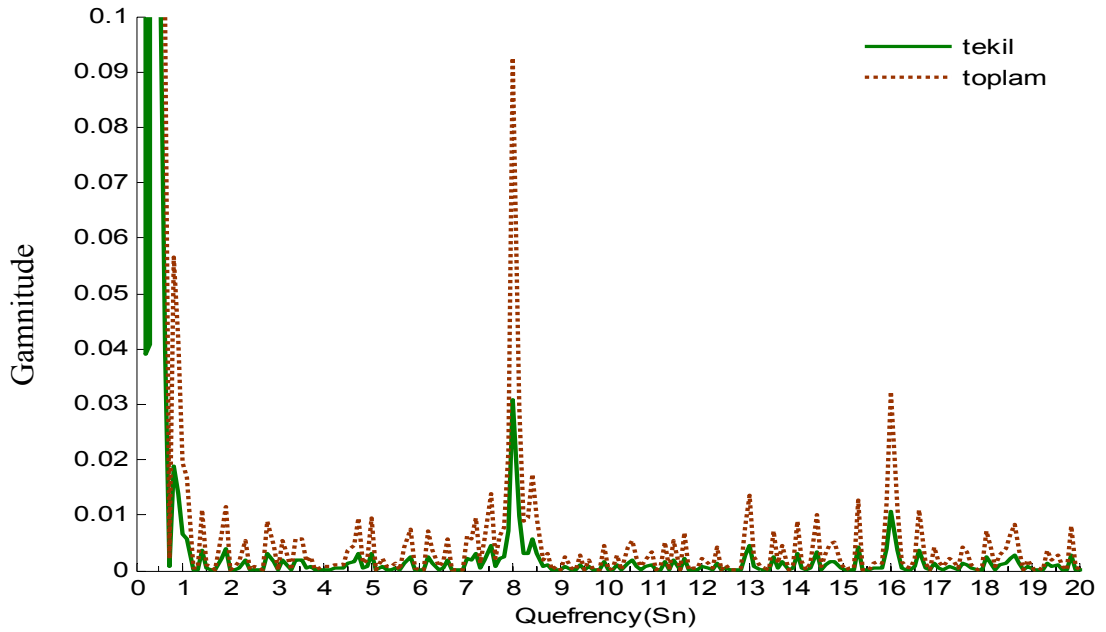
Şekil 162. Gürültü içeren üç adet istasyona ait yapay sismogram örneği, a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=8$ sn, %0.05 gürültülü)



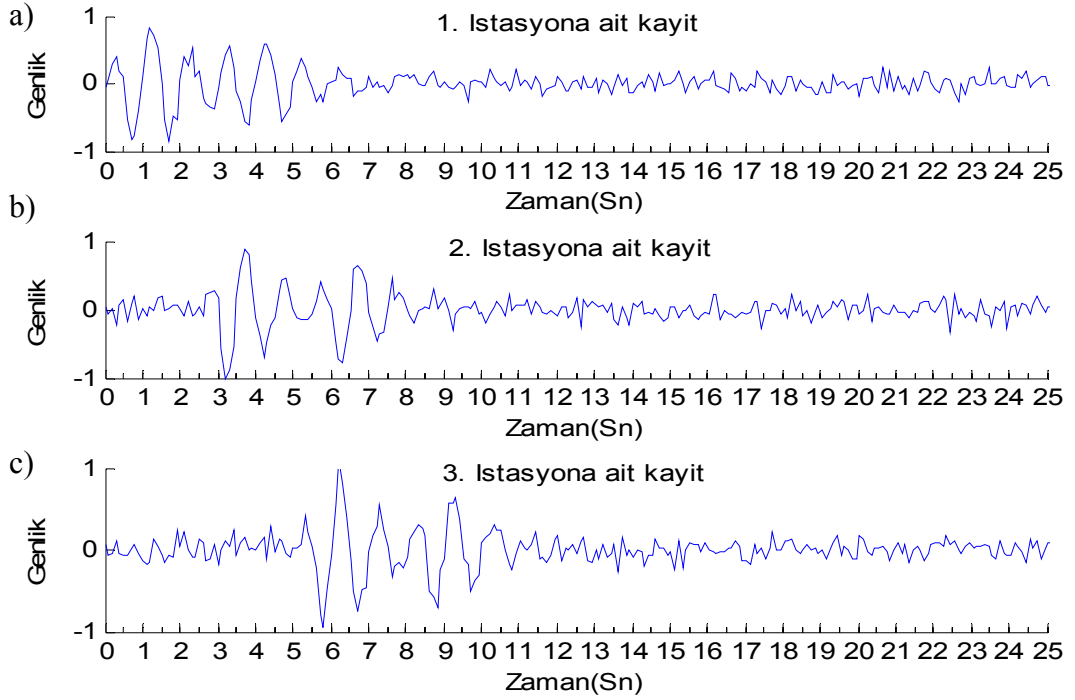
Şekil 163. Gürültü içeren kayıtlar filtrelendikten sonra yapay sismogram örneği
a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı
(gecikme zamanı $dt=8$ sn)



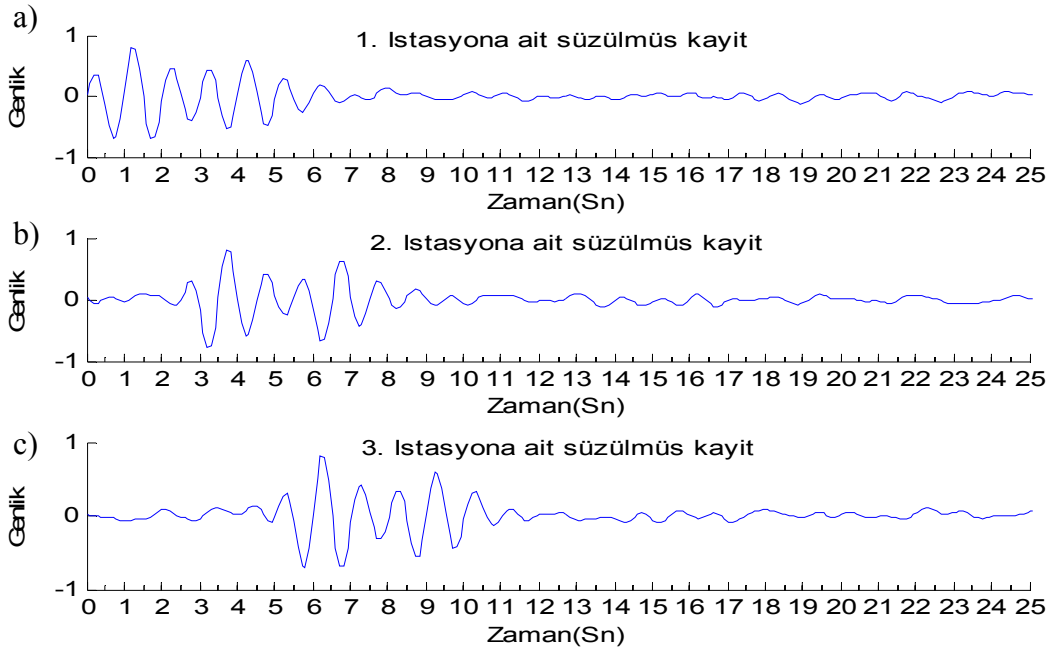
Şekil 164. Gürültüleri filtrelenmiş üç istasyona ait verilerin klasik kepstrum sonuçları
 a) 1. istasyon kepstrumu, b) 2. istasyon kepstrumu, c) 3. istasyon kepstrumu, d) Toplam mutlak değer kepstrumu (gecikme zamanı 8 sn)



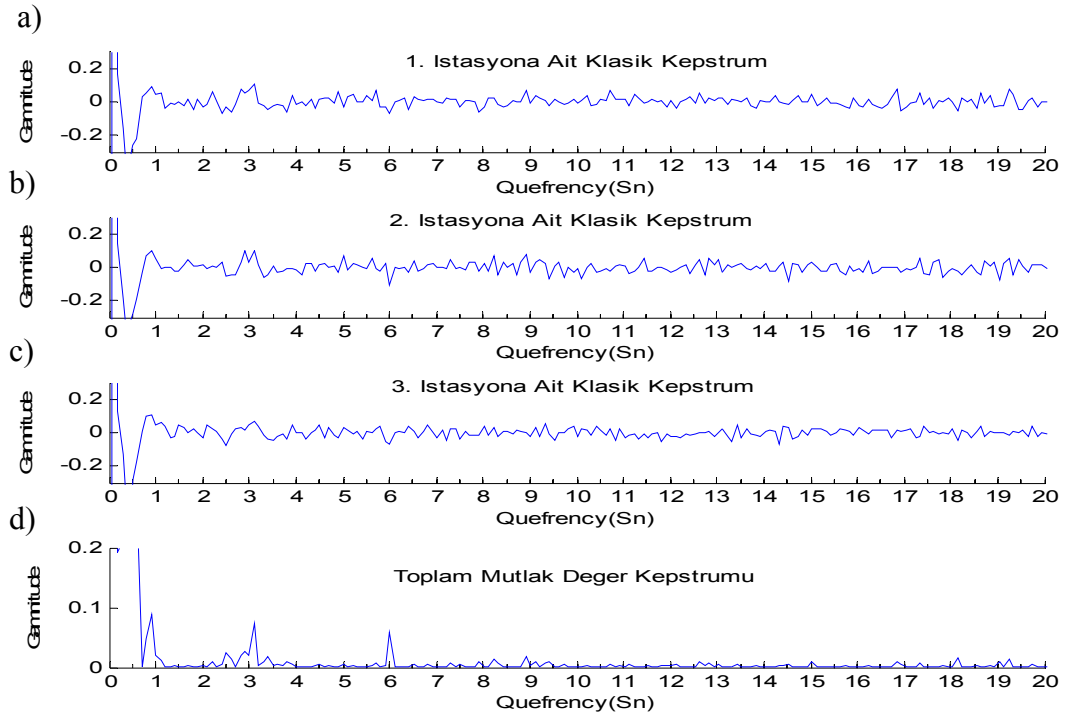
Şekil 165. Süzölmüş istasyon verilerine uygulanan kepstral F-İstatistik yöntemi sonuçları, düz çizgiler tekil, kesikli çizgiler toplam kepstrumu gösterir, gecikme zamanı $dt=8$ sn)



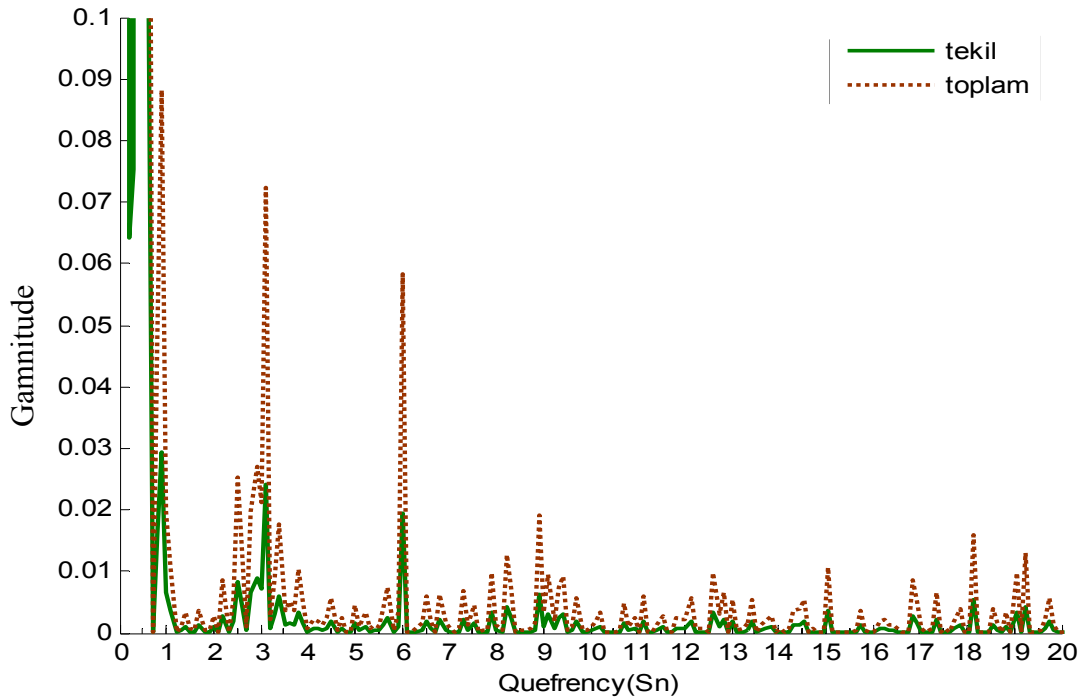
Şekil 166. Gürültü içeren üç adet istasyona ait yapay sismogram örneği a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=3$ sn, %0.05 gürültülü)



Şekil 167. Gürültü içeren kayıtlar filtrelendikten sonra yapay sismograf kayıt örneği a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı (gecikme zamanı $dt=3$ sn)



Şekil 168. Gürültüleri filtrelenmiş üç istasyona ait verilerin klasik kepstrum sonuçları
a) 1. istasyon kaydı, b) 2. istasyon kaydı, c) 3. istasyon kaydı
(gecikme zamanı $dt=3$ sn)



Şekil 169. Süzölmüş istasyon verilerine uygulanan kepstral F-İstatistik yöntemi sonuçları, düz çizgiler tekil, kesikli çizgiler toplam kepstrumu gösterir,
(gecikme zamanı $dt=3$ sn)

Yukarıdaki şekillerde sadece birinci istasyon için filtreleme işleminin nasıl uygulandığı gösterilmiştir. İlk olarak verinin genlik spektrumu hesaplanarak spektrumda gözle gürültülere ait kısım ayırt edilmiş ve bu gürültülerin yok edilmesi için uygun Butterworth süzgeci oluşturulmuştur (Şekil 160). Şekil 161’de ise genlik spektrumunun filtrelenmeden önceki ve sonraki durumu gösterilerek filtrelenmiş veri tekrar zaman ortamına aktarılmıştır. Bu işlemler diğer iki istasyon içinde yapılarak Şekil 163’te gösterilmiştir. 8 sn gecikmeli iki dalganın toplamına %0.05 gürültü eklenerek oluşturulan 3 istasyona ait kayıtların verildiği Şekil 162, Şekil 163’ile karşılaştırmak için gösterilmiştir. Her üç istasyon için gürültüler ve süzöldükten sonraki durumları bu iki şekillerden açıkça görülmektedir. Filtre edildikten sonra veride küçük frekanslara ait gürültüler yok edilerek kaynak ve yankı daha belirgin ve düzgün bir hal almıştır. Filtre edilmiş verilere ait normal kepstrum sonuçları Şekil 164’te gösterilmiştir. 8 sn’lik gecikme zamanı için bulunan filtrelenmiş verilerde süzülmeden alınan kepstrum sonuçlarına göre daha açık ve küçük boyuttaki gürültülerin etkileri daha da bastırılmıştır. Gürültü bileşenlerinin filtrelenmesiyle 16 sn’deki tekrarlı yankı sonucu bile açıkça fark edilmektedir. Bu şekilde filtrelenmiş veri üzerinde yapılan kepstral F-istatistik çalışması Şekil 165’te gösterilmektedir. Buradan elde edilen sonuçlardan iki dalga fazı arasındaki zaman farkının 8 sn olduğu kolaylıkla söylenebilir. Gürültülerin oluşturduğu sahte genlik değerlerine karşın dalga fazlarının zamansal farkından ileri gelen periyodik piklerin genlik değerleri oldukça belirginleşmiştir. Filtreleme yapılmadan önceki F-istatistik çalışmalarında, kaynağa yakın gürültü genlikleri oldukça büyük olmasına rağmen filtrelendikten sonra bu genlikler belirli bir düzeyde sabit kalarak gerçek genlikler ön plana çıkartılmıştır.

Aynı şekilde filtreleme işlemi, aralarındaki gecikme zamanı 3 sn olan iki sinyalden oluşan toplam sinyaller için de uygulanmıştır. Şekil 166’da her üç istasyon için yapay sismogramların (veri) oluşturulması gösterilmiştir. Oluşturulan bu üç istasyon verisinin genlik spektrumları hesaplanıp gürültü bandlarına uygun Butterworth süzgeci ile süzölmüştür. Süzölmüş verinin zaman ortamındaki gösterimi Şekil 167’deki gibidir. Veriler süzöldükten sonra yine her bir verinin normal kepstrum değerleri hesaplanmıştır (Şekil 168). Daha sonra normal kepstrum değerlerinden yararlanarak “tekil” ve “toplam” kepstral F-istatistik sonuçları bulunmuştur (Şekil 169). Kepstral F-istatistik çalışması sonucu yine 3 sn ve periyodik piklerinde, dalga fazları arasındaki zaman farkından kaynaklanan genlikler belirgin bir şekilde ortaya çıkartılmıştır (169). Genel olarak pencereleme ve filtreleme işlemleri uygun bir şekilde yapıldıkları takdirde kepstrum

alışmalarının ister normal ister kepral F-istatistik yöntemlerinin her ikisi için oldukça fazla katkı sağladıkları söylenebilir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR (GERÇEK VERİLER ÜZERİNDE)

Gerçek veriler üzerinde yapılacak çalışmalarda 4 farklı deprem için toplam 33 uzun periyot düşey bileşen deprem kaydı kullanılmıştır. İlk incelenen deprem 01.05.1986 Peru-Brezilya depremine ait 7 farklı istasyon kaydı kullanılmıştır. İkinci olarak kullanılan deprem kaydı 02.03.2005 Banda-Sea depremidir. Üçüncü olarak kullanılan deprem ise 10.08.2004 tarihli Hindukush depremidir. Bu son iki deprem KTÜ. TBZ. istasyonu uzun periyot düşey bileşen deprem kayıtlarıdır. Son olarak kullanılan deprem; kepstral F-istatistik yöntemi için bir sismogram ağı tarafından kayıt edilmiş olması bakımından 24.12.2004 Sumatra depremi ağ kayıtlarıdır. Bu deprem kayıtları Türkiye üzerinde toplam 24 deprem istasyonunda kayıt edilen uzun periyot düşey bileşen kayıtlarından oluşmaktadır.

İncelenecek ilk örnek Peru-Brezilya sınırında olan 01.05.1986 tarihli depremin uzun periyot düşey bileşen analog kayıdır. Bu depreme ait parametreler; $d = 600$ km, $M = 6.0$, Peru-Brezilya depremi olup episantır uzaklıkları 50.1^0 ile 92.6^0 arasında değişen 7 farklı istasyonlarda kayıt edilmiştir (SCP($\Delta=50^0.1$), RSNY($\Delta=53^0.6$), ANMO($\Delta=55^0.1$), RSSD($\Delta=60^0.8$), LON($\Delta=71^0.6$), GRFO($\Delta=92^0.1$), COL($\Delta=92^0.6$)). Her bir istasyon kaydı, çeşitli veri-işlem aşamalarından geçirildikten sonra kepstrum hesaplanması için hazır hale getirilmiştir. Deprem verisi eşit olmayan gridleme aralıklarıyla sayısallaştırılması yapılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Gridleme yapılırken veri eşit aralıklı örneklenemediği için spline interpolasyonu uygulanarak örnekleme eşit aralıklı hale getirilmiştir. Sayısallaştırmadan ve spline interpolasyonunun bozucu etkilerinden kaynaklandığı düşünülen verilerde bazı küçük olumsuz etkiler görülmüştür. Bu etkileri düzgünleştirmek için verinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu çizdirilmiştir ve genlik spektrumu üzerindeki küçük enerjili yüksek frekanslar alçak geçişli bir Butterworth süzgeci ile süzölmüştür. Filtrelenen veri tekrar zaman ortamına aktarılmış ve sinyal üzerindeki küçük bozucu etkiler elimine edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 170'te episantır uzaklığı $\Delta=50^0.1$ için veri-işlem aşamaları gösterilmiştir. Şekil 170 a'da Peru-Brezilya depreminin sayısallaştırılmış hali, Şekil 170 b'de Spline interpolasyonu uygulandıktan sonra ve Şekil 170 c'de ise Butterworth filtresiyle filtrelenerek tekrar zaman ortamına aktarılmış veri gösterilmiştir. Şekil 171'de Butterworth filtresinin veri üzerine uygulanışı gösterilmiştir. İlk önce deprem verisinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu çizdirilmiştir (Şekil 171 a). Genlik spektrumu

üzerinde görülen düşük enerji seviyeli yüksek frekanslar gürültü olarak alınmış ve bunların süzülmesi için uygun Butterworth filtresi kullanılmıştır (Şekil 171 b). Butterworth filtresi uygulandıktan sonra genlik spektrumu Şekil 171 c'deki hale dönüşmüştür. Şekil 172 a'daki grafik, Şekil 171 c'de filtrelenmiş verinin tekrar zaman ortamına döndürülmüş halidir. Zaman ortamındaki düzgünleştirilmiş bu veri üzerine, depremin episantr uzaklığı ve odak derinliğinden yararlanarak hazırlanmış olan zaman-uzaklık tablosu IASP91'e göre beklenen geliş zamanları işaretlenmiş (Şekil 172 a) [12]. Şekil 172 a üzerinde işaretlenen dalga fazlarından istediğimiz dalga fazlarını ayırmak için veri uygun bir Tukey penceresiyle pencerelenmiştir (Şekil 172 b). Pencereleme yapılmış sinyal Şekil 172 c'de gösterilmektedir. Pencereleme yapıldıktan sonra kayıta, istasyona ilk önce geliş sırasına göre P, PcP, pP deprem fazları kalmıştır. Veri üzerinde aranan dalga fazlarına ait pencereleme yapıldıktan sonra kepstrum ve öz-ilişki alınması için uygun bir hale getirilmiştir. Teorik olarak bu dalga fazları için zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre $50^{0.1}$ episantr uzaklığı ve 600 km odak derinliği için dalga fazlarının geliş zamanları arasındaki farkların aşağıdaki gibi olduğu belirlenmiştir.

$$P-PcP = 68.22 \text{ sn}$$

$$P-pP = 109.42 \text{ sn}$$

$$P-PP = 123.8 \text{ sn}$$

$$P-sP = 174.96 \text{ sn}$$

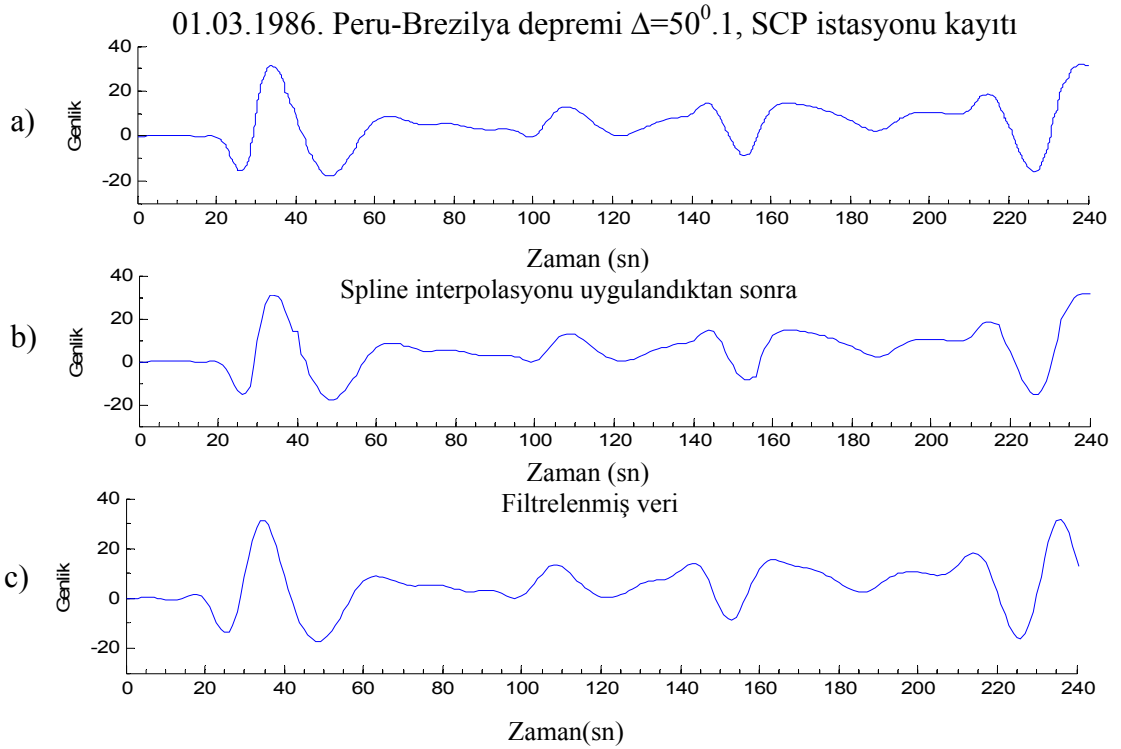
Yapılan kepstrum işlemi sonucunda her üç farklı kepstrum için bulunan dalga fazları arasındaki zaman farkları aşağıdaki gibi bulunmuştur. Şekil 173 a, b, c'de gösterilen sırasıyla Klasik, Öz-ilişki ve Kompleks Kepstrum için aynı sonuçlar bulunmuştur. Şekil 173 d'de ise Klasik Kepstrum değerinin mutlak değeri alınarak sonuçların daha iyi görülebilmesi için çizdirilmiştir. Bulunan gecikme zamanları

$$P-PcP = 68 \text{ sn}$$

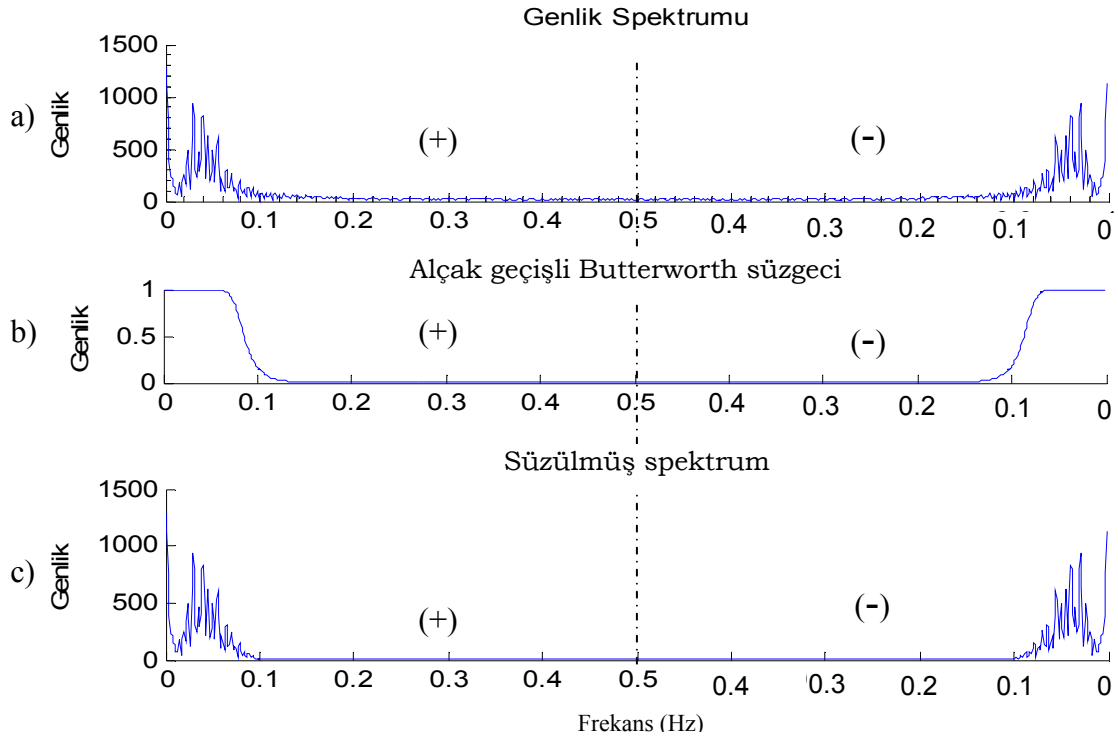
$$P-pP = 102 \text{ sn}$$

dir.

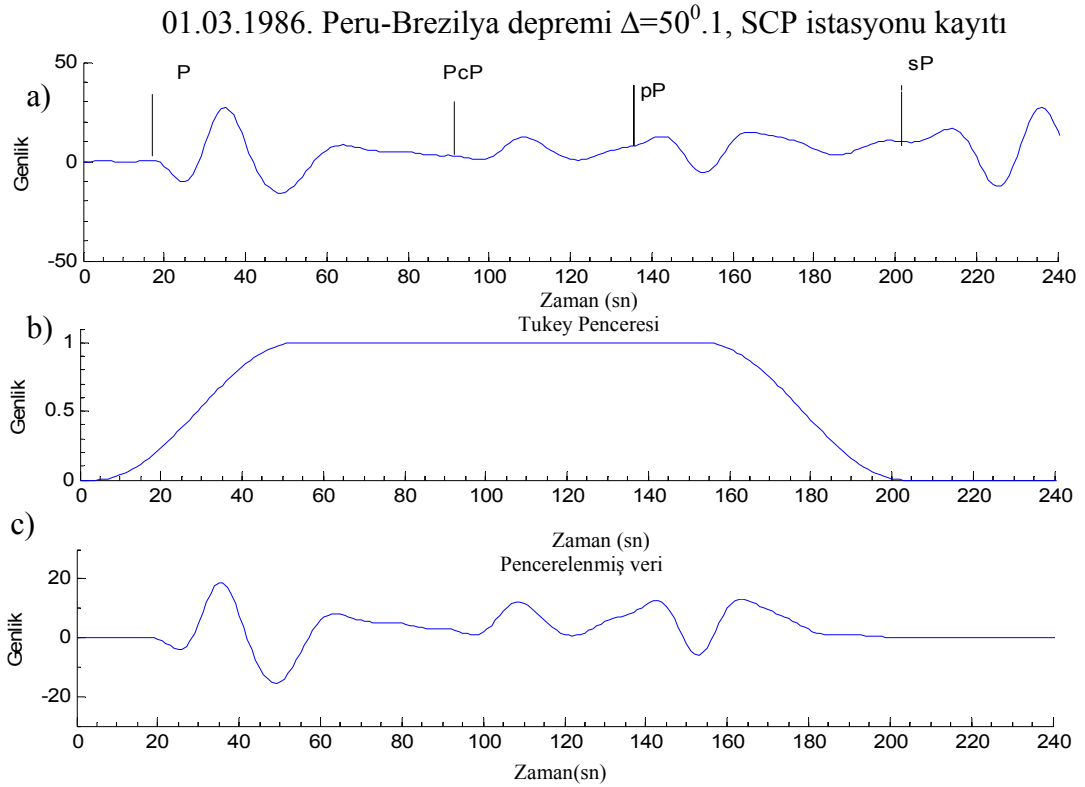
İkinci bir yöntem olarak öz-ilişki yöntemi uygulanmıştır. Şekil 172 c’de en son pencereleterek hazır hale getirilen verinin öz-ilişkisi alınmıştır. Şekil 174 ’de iki adet birisi daha dar zaman ölçeğinde çizdirilmiş aynı veriye ait öz-ilişki sonuçları gösterilmektedir. Şekil 174 b’deki dar zaman aralığı için pencerelemiş veri öz-ilişki sonucunda ortalama 65 sn ve 120 sn de iki olayın varlığı görülebilmektedir. Dalga fazları arasındaki faz farkları nedeniyle öz-ilişki kesin bir zaman farkının okunmasını güçleştirmiştir. Bu grafik üzerinde kabaca bir zaman okumalarının yapılabileceği ve P dalga fazları arasında bir faz farkının olduğu söylenebilir.



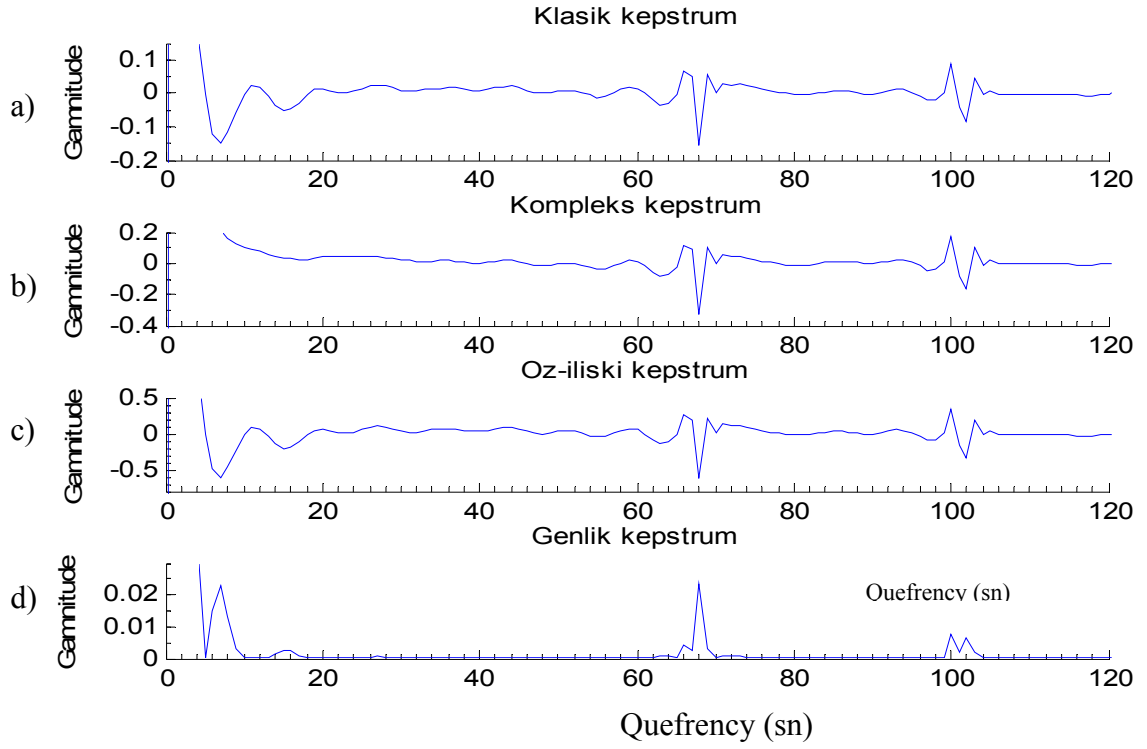
Şekil 170. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=50^0.1$)



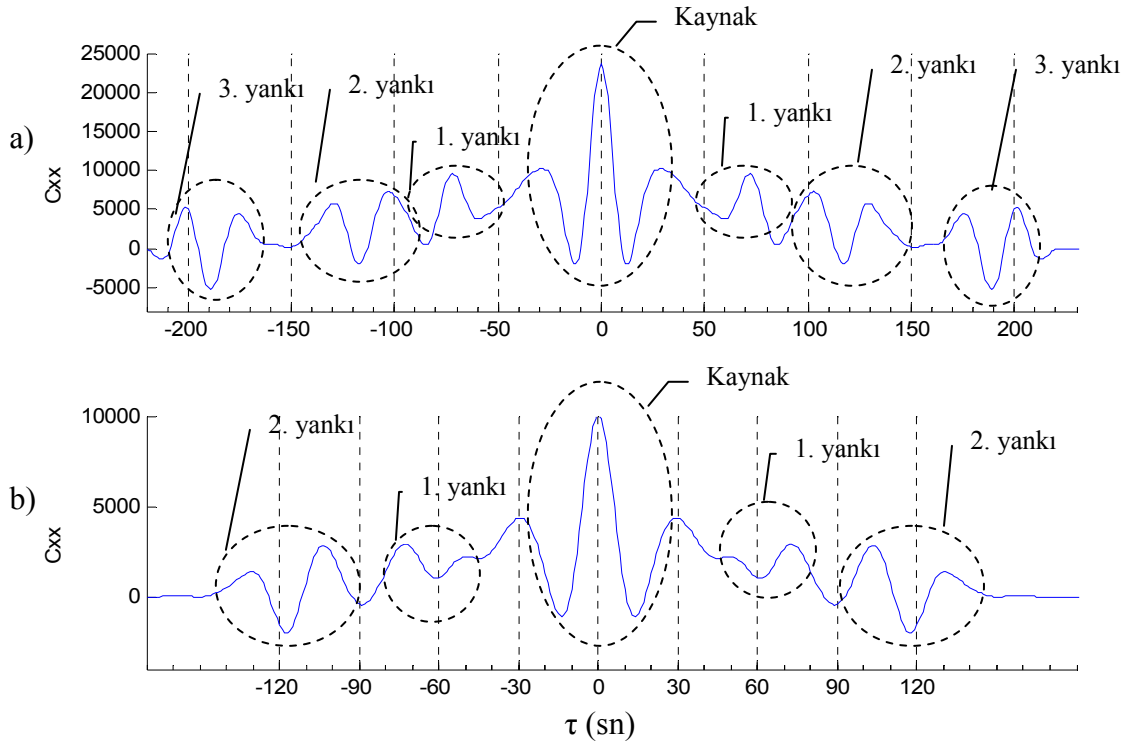
Şekil 171. Şekil 170 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 172. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=50^{\circ}.1$)



Şekil 173. Şekil 172 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri



Şekil 174. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=50^0.1$)

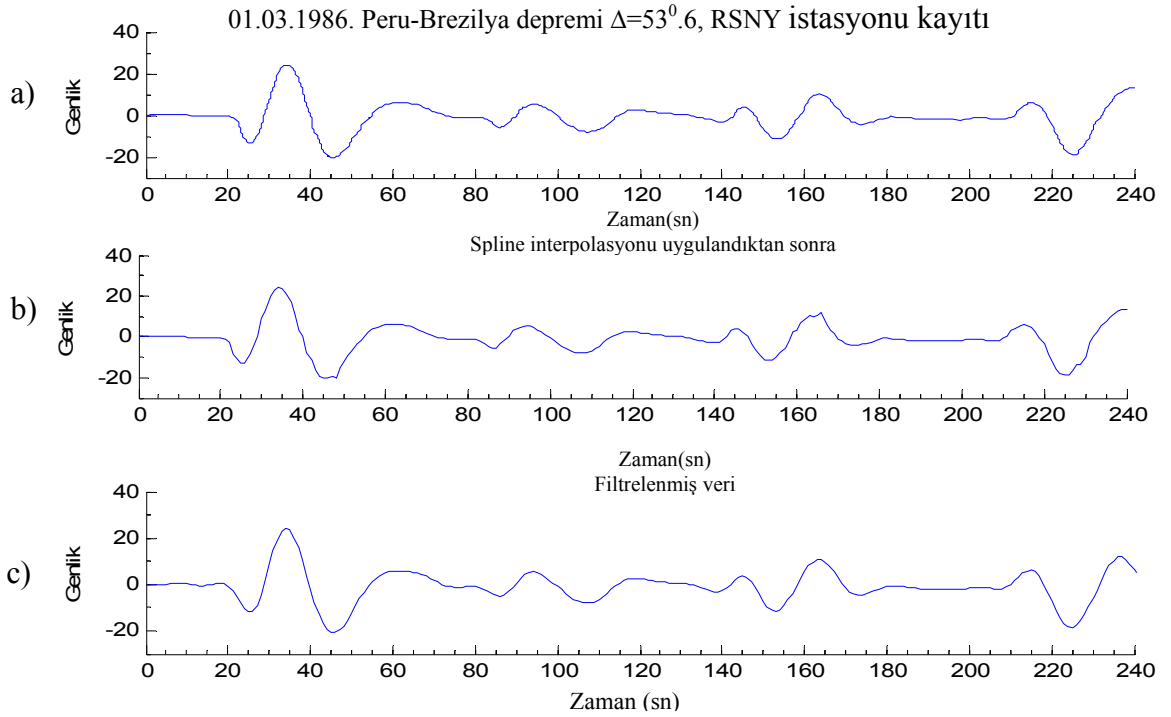
Şekil 173'te bulunan üç farklı kepstrum değerinden P-PcP deprem fazları arasındaki zaman farkı yaklaşık 68 sn civarında, P-pP dalga fazları arasındaki zaman farkı ise 102 sn civarında bulunmuştur. Zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre bulunması gereken zaman değerlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Öz-ilişki fonksiyonu sonucundan da kabaca 60 sn ve 120 sn civarında deprem fazlarının varlığından söz edilebilir (Şekil 174 b). Öz-ilişki fonksiyonu üzerinden kesin bir zaman farkı ayırımı yapılamamasına rağmen faz bilgisi hakkında P-PcP ve P-pP fazlarının her ikisi için 135^0 - 180^0 arasında bir faz farkının olduğu söylenebilir (Şekil 174). Aynı şeyi her üç kepstrum sonucundan da söylemek mümkündür (Şekil 173 b, c).

İkinci veri olarak aynı depremin episantr uzaklığı $\Delta = 53^0.6$ olan RSNY(New York,USA) deprem istasyonu kullanılmıştır. İstasyonda kayıt edilen deprem Şekil 175 a'da gösterilmektedir. Bu deprem verisi üzerinde yine çeşitli veri-işlem yöntemleri uygulanarak veri düzgünleştirilmeye çalışılmıştır. İlk olarak verinin eşit aralıklı örneklenmesi için spline interpolasyonu uygulanmıştır (Şekil 175 b). Şekil 175 c'de ise verinin filtrelendikten sonraki hali gösterilmektedir. Filtreleme işlemi yine alçak geçişli bir Butterworth filtresiyle yapılmıştır. Verinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu Şekil 176 a'da gösterilmektedir. Bu genlik spektrumu üzerindeki gürültü bileşenlerinin süzülmesi için hazırlanmış filtre fonksiyonu da Şekil 184b'de gösterilmiştir. Filtrelenmiş genlik spektrumunu tekrar zaman ortamına döndürerek yüksek frekansların etkisinden kaynaklanan etkiler sönmülmüştür (Şekil 176 c). Filtrelendikten sonra deprem verisi üzerinde zaman uzaklık tablosundan yararlanarak dalga geliş zamanları işaretlenmiştir (Şekil 177 a). Şekil 177 a üzerinde aranılan dalga fazlarının uygun bir şekilde diğer verilerden ayrılması gereklidir. Bunun için Tukey penceresi kullanılmıştır (Şekil 177 b). Pencerelelendikten sonra veri kepstrum ve öz-ilişkinin alınması için uygun hale getirilmiştir (Şekil 177 c).

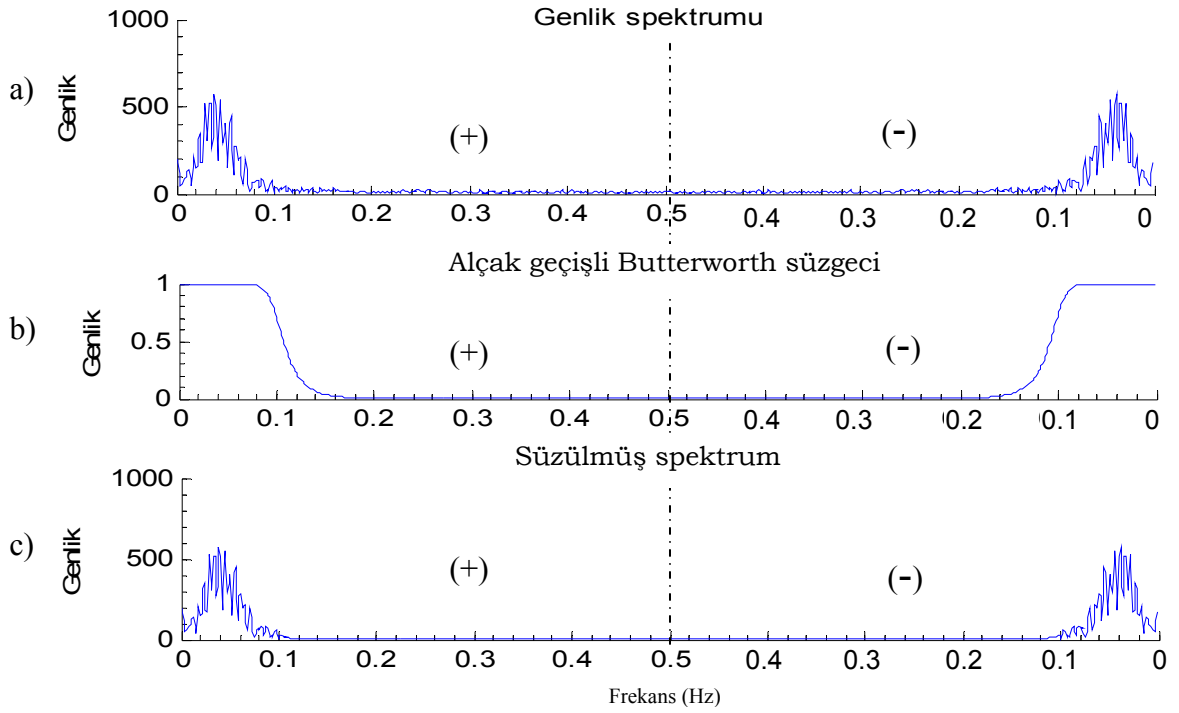
Pencerelenen verinin kepstrum sonuçları Şekil 178 'da gösterilmektedir. Şekil 178 a, b, c için sırasıyla hesaplanan Klasik, Kompleks, Öz-ilişki kepstrumları için bulunan gecikme zamanı değerleri P-PcP fazları için 57 sn, P-pP fazları arasındaki gecikme zamanı ise 114 sn olarak bulunmuştur. Zaman-uzaklık tablosuna (IASP'91) göre bulunması gereken zaman değerleriyle yaklaşık aynı sonuçlar bulunmuştur. İlk istasyona göre P-pP fazı modele daha yaklaşık bir sonuçla bulunmuştur. Bunun nedeni P-PcP fazının 57 sn'deki tekrarlamasının 114 s'de olacağını ve modelden de P-pP fazları arasındaki zaman

farkı 111.74 sn olmasıyla bu iki zamanın yaklaşık aynı olması, kepstrum ortamında birbirinin genlik değerlerinin güçlendirilmesine neden olmaktadır (Şekil 178).

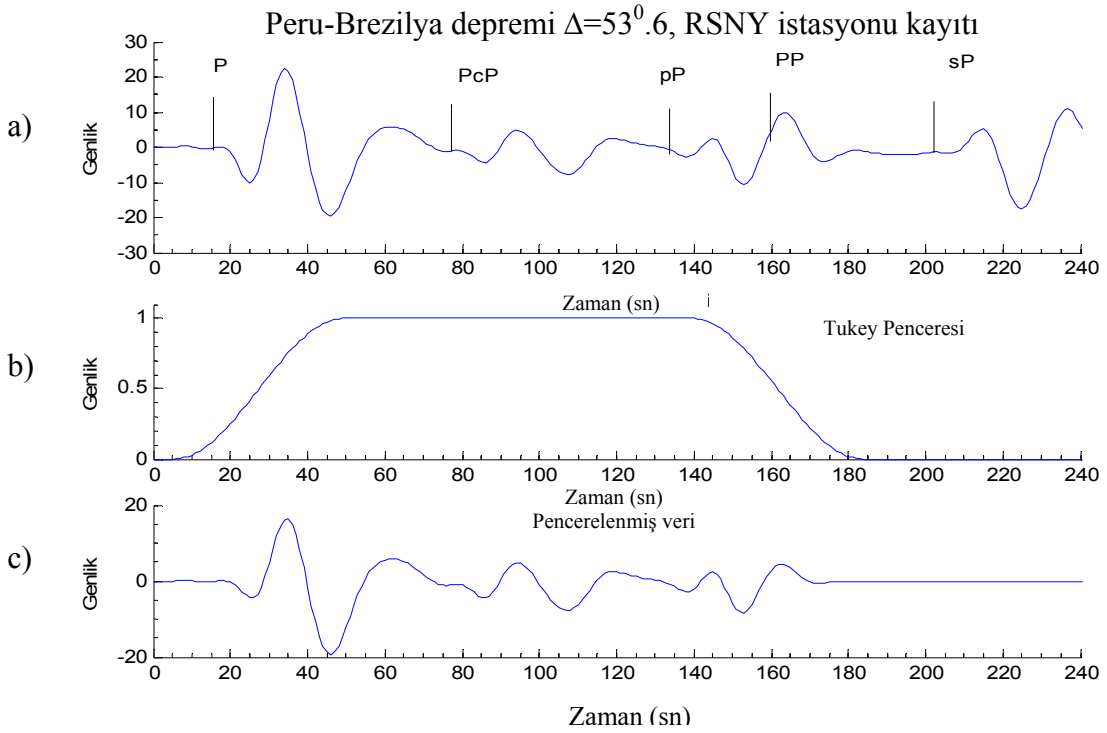
Öz-ilişki grafiğinde ise iki tane olayın varlığından söz edilebilir (Şekil 179). Yaklaşık 60 sn ve 120 sn'de farklı bileşenlerden oluşan yapıların varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 179 b). Şekil 179 b'ye göre faz farkı hakkında P-PcP ve P-pP fazlarının her ikisi için 135° - 180° arasında bir faz farkı olduğu söylenebilir.



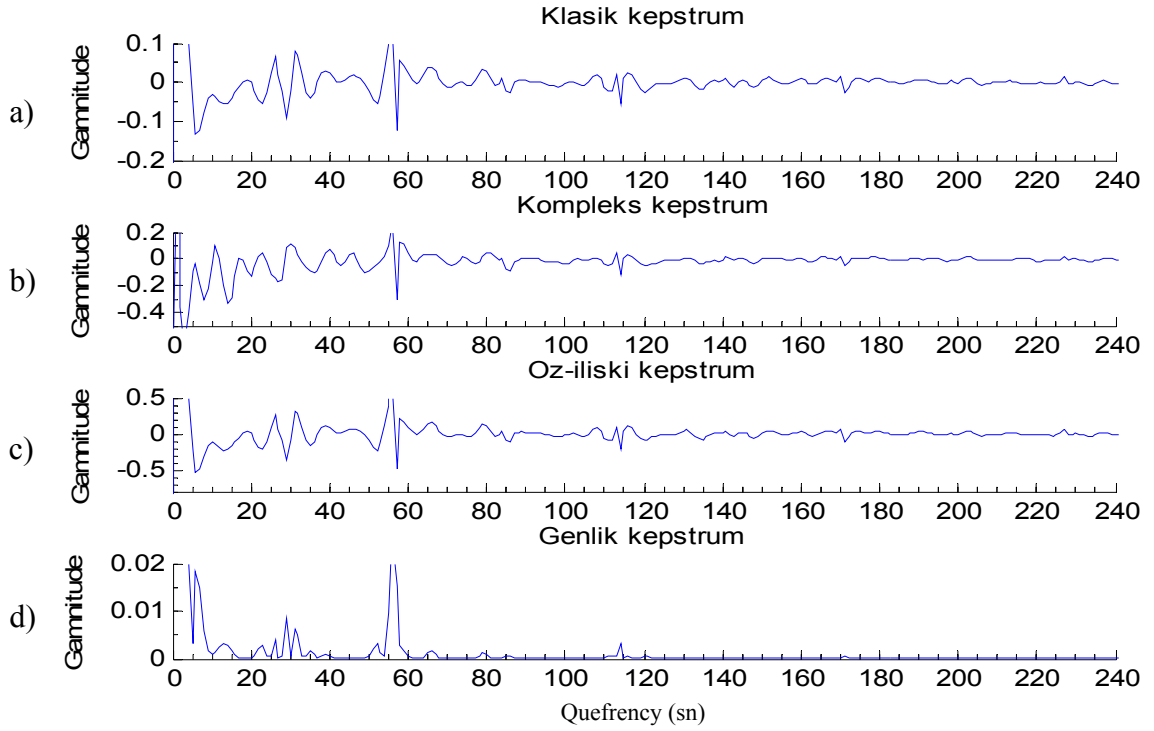
Şekil 175. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=53^{\circ}.6$)



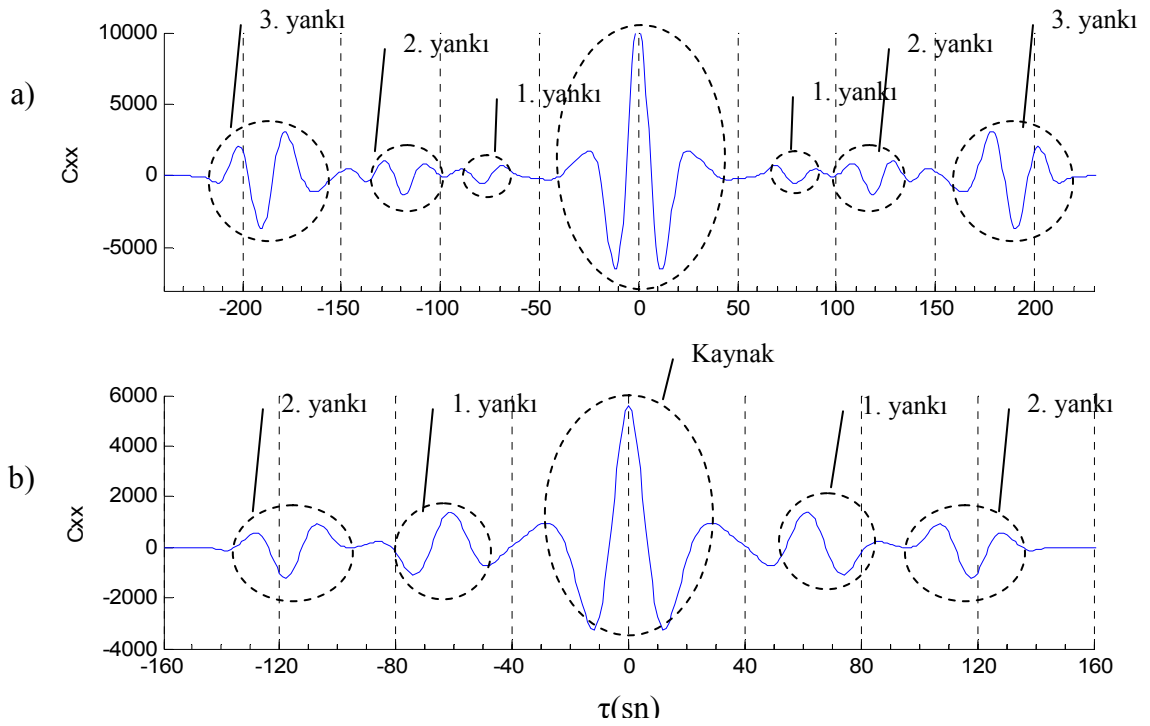
Şekil 176. Şekil 175 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 177. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=53^{\circ}0.6$)



Şekil 178. Şekil 177 c'deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kıyestrumu, c) Kıyemle Kıyestrumu, c) Öz-ilişki Kıyestrumu, d) Klasik Kıyestrumun mutlak değeri



Şekil 179. Peru-Brezilya depremüne ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=53^0.6$)

Diğer 5 istasyon (ANMO(New Mexico,USA), RSSD(South Dakota,USA), LON(Washington,USA), GRFO(Bayern,FRG), COL(Central Alaska,USA)) verisi de aynı şekilde sayısallaştırılıp spline interpolasyonu alınarak eşit aralıklı örnekleme yapılmıştır. Eşit aralıklı örneklenen verilerin Fourier transformu alınarak genlik kepstümü çizdirilmiş ve buradan gürültü seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Gürültü seviyeleri belirlendikten sonra her bir veri için uygun alçak geçişli Butterworth süzgeci ile veriler süzölmüştür. Süzölen veriler tekrar zaman ortamına aktarılarak burada aranılan fazlara ait bir pencere uygulanmış ve veri-işlem aşaması sona erdirilmiştir. En son pencerelenmiş veri üzerinde kepstüm ve öz-ilişkileri alınarak seçilen fazlar için gecikme zamanı farkları bulunmaya çalışılmıştır. Tüm bu işlemler her bir istasyonda kayıt edilen deprem verisi için aynen uygulanmıştır. Yapılmış olan kepstüm ve öz-ilişki çalışmalarında ilk üç istasyon için sismogramlar üzerinde (episantr uzaklıkları sırasıyla $\Delta = 50^0.1, 53^0.6, 55^0.1$) P-PcP ve P-pP dalga fazlarına ait gecikme zamanları hesaplanmaya çalışılmıştır. Episantr uzaklıkları $\Delta = 60^0.8$ ve $71^0.6$ olan istasyon kayıtları için sadece P-PcP fazları arasındaki gecikme zamanları hesaplanmıştır. $\Delta = 92^0.1$ ve $92^0.6$ 'deki episantr uzaklıklarındaki istasyonlar için ise P ile PcP fazları birbiriyle tam girişime uğrayarak tek bir dalga fazına dönüşmüş ve bu toplam faz ile pP fazı arasındaki gecikme zamanı hesap edilmiştir. Her bir istasyon için bulunması gereken değerler ve bu çalışmayla bulunan değerler karşılaştırmalı Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'te tüm istasyonlar için bulunması gereken fazlar arasındaki zaman değerleri ve kepstüm sonucunda bulunan zaman farkları gösterilmektedir.

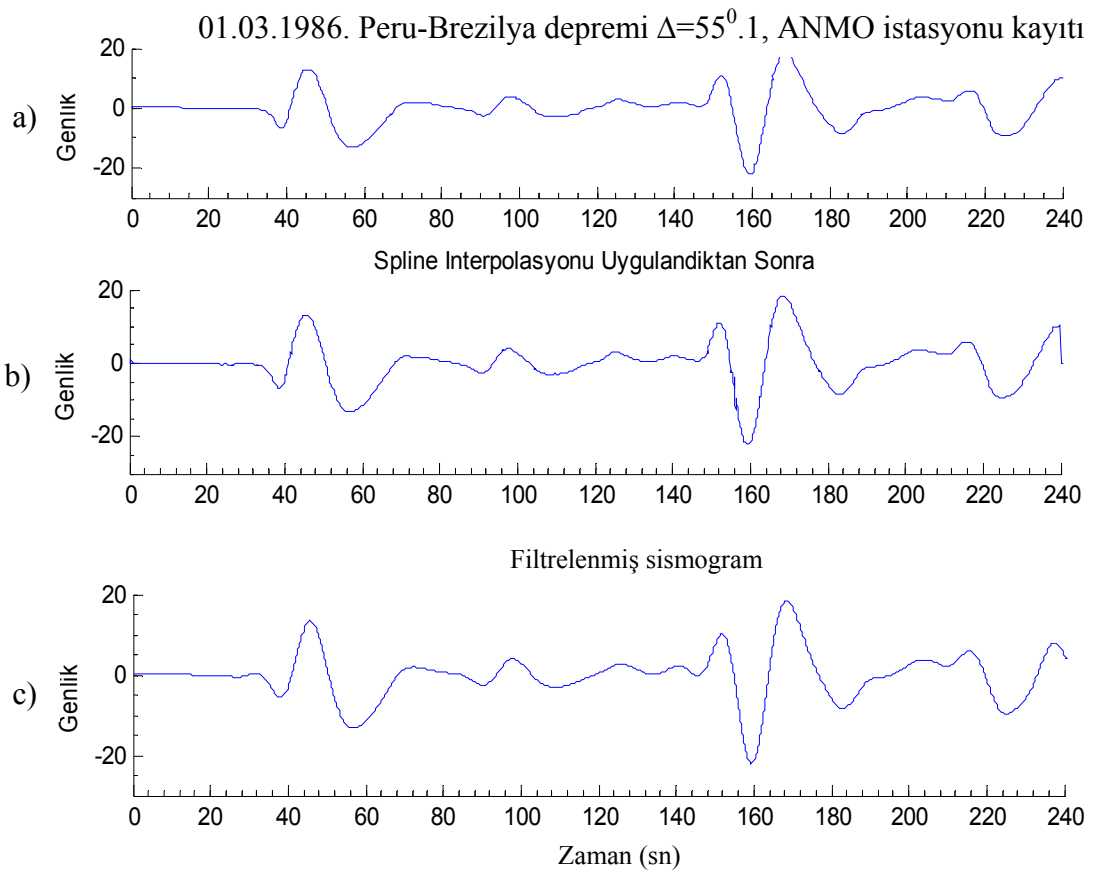
Tablo 3. IASP91 Modeline göre bulunan sonuçlar ile kepstrum sonucu bulunan zaman Farkları [12]

İSTASYON UZAKLIĞI (Δ^0)	IASP'91 MODELİNE GÖRE FAZLAR ARASINDAKİ ZAMAN FARKLARI(sn)	FAZLAR ARASINDA KESTİRİLEN ZAMAN FARKLARI(sn)	ZAMAN FARKLARI (sn)
50.1	P-PcP = 68.22 P-pP = 109.42 P-PP = 123.8 P-sP = 174.96	P-PcP = 68 P-pP = 102	0.22 7.42
53.6	P-PcP = 56.47 P-pP = 111.74 P-PP = 129.8 P-sP = 176.86	P-PcP = 57 P-pP = 114	0.53 2.26
55.1	P-PcP = 51.82 P-pP = 112.69 P-PP = 132.56 P-sP = 177.52	P-PcP = 50 P-pP = 102	1.82 10.69
60.8	P-PcP = 36.16 P-pP = 116.1 P-PP = 144.05 P-sP = 179.92	P-PcP = 38	1.84
71.6	P-PcP = 14.7 P-pP = 121.8 P-PP = 169.68 P-sP = 183.99	P-PcP = 16	1.3
92.1	P-PcP = 0.38 P-pP = 129.77 P-sP = 189.71	P+PcP-pP = 120	9.77
92.6	P-PcP = 0.21 P-pP = 129.82 P-sP = 189.75	P+PcP-pP = 118	11.82

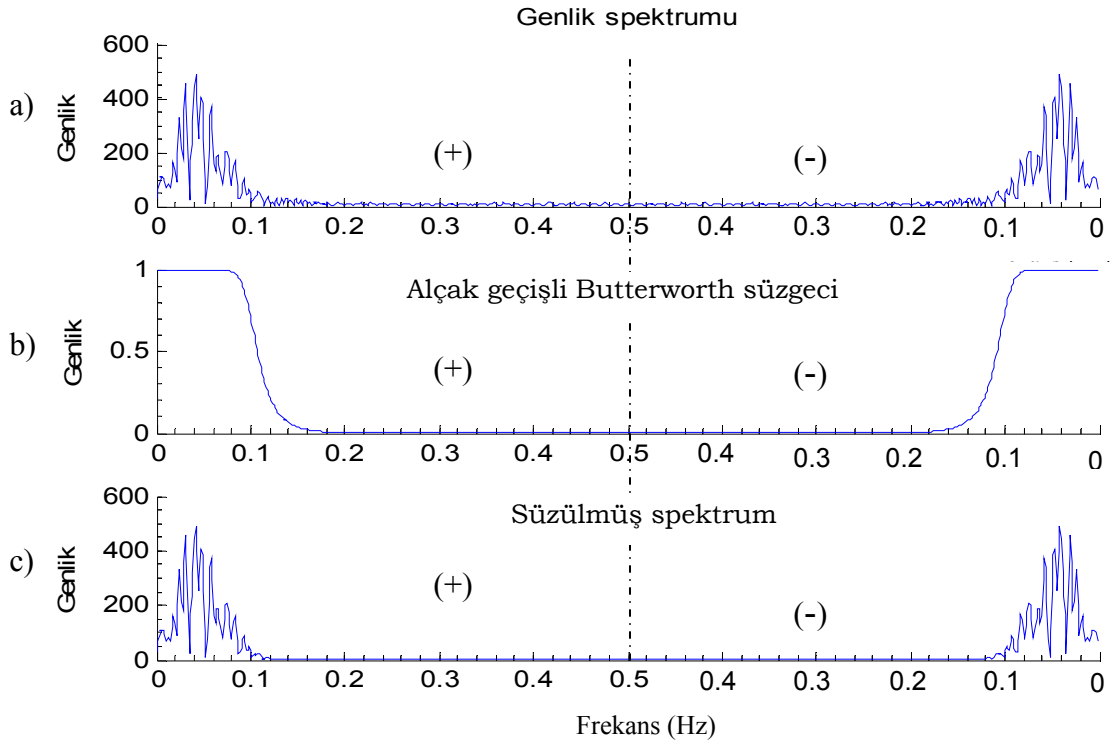
Yukarıda açıklanan 2 istasyon verisine ait sonuçların dışında kalan 5 istasyon içinde genel bir açıklama aşağıda yapılmıştır. Tüm bu istasyonlar için uygulanan veri-işlem aşamalarına yukarıda değinildiği için ayrı ayrı tekrar açıklanmamıştır. Değişiklik olarak sadece amaca uygun şekilde filtre ve pencere fonksiyonları hazırlanmıştır.

İlk iki istasyondan sonra üçüncü istasyona ait kayıt için episantr uzaklığı $\Delta=55^0.1$ 'lik bir istasyon kaydı kullanılmıştır. Elde edilen kayıt Şekil 180'de gösterilmektedir. Bu deprem kaydının genlik spektrumu ve yüksek frekansların süzülmesi için kullanılan filtre fonksiyonu Şekil 181'de gösterilmiştir. Şekil 182'de ise filtrelenen bu fonksiyonun P dalga fazlarının geliş zamanları, zaman-uzaklık tablosu (IASP91)'e göre işaretlenmesi ve ilgilenilen deprem fazlar için pencereleme işlemi gösterilmektedir. Pencerelenen veriye ait kepstrum sonuçları Şekil 183'te ve öz-ilişki sonuçları ise Şekil 184'te gösterilmiştir.

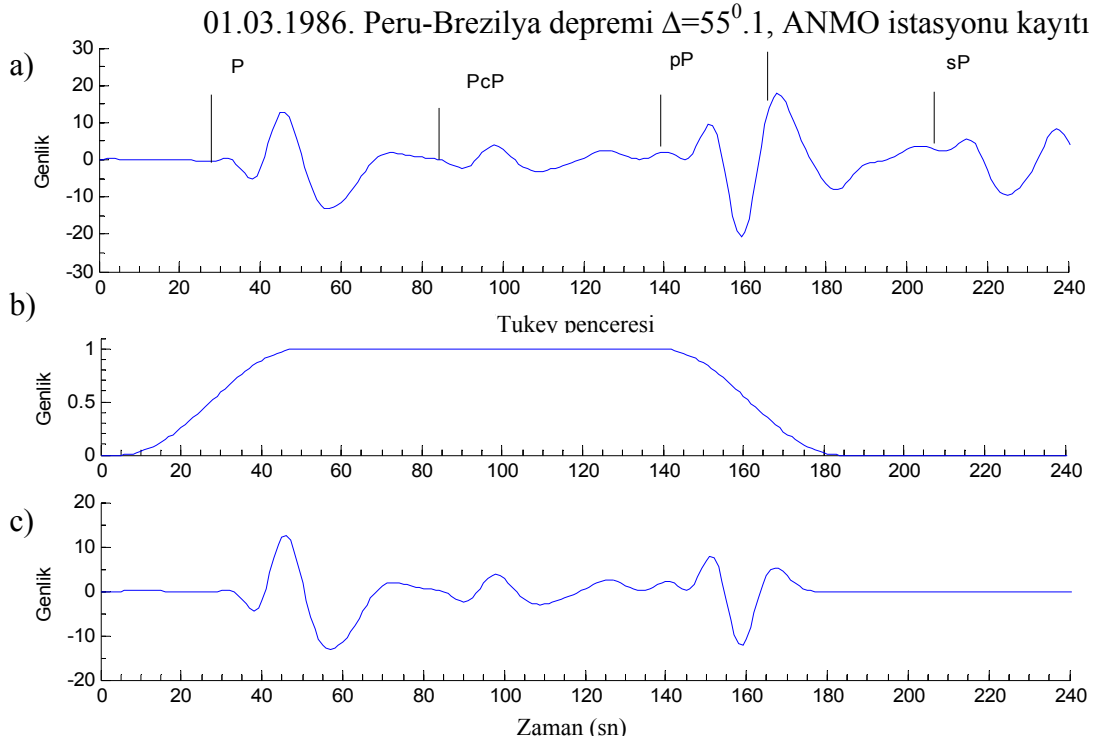
Kepstrum sonuçlarına göre P-PcP fazları arasında 50 sn P-pP fazları arasında ise 102 sn'lik bir gecikme zamanı farkı bulunmuştur (Şekil 183). Öz-ilişki sonuçlarından ise yine kabaca 60 sn, ve 110 sn'de bu deprem fazlarının etkisiyle farklı dalgalanmalar gözlenmiştir. Bulunan zaman farkları zaman-uzaklık model yapısından (IASP91) elde edilen zaman farkı değerleriyle büyük ölçüde uyuşmaktadır. Faz bilgisi olarak kepstrum sonuçlarından P-PcP ve P-pP fazlarının her ikisi için de 135° - 180° civarında bir faz farkı olduğu söylenebilir (Şekil 184).



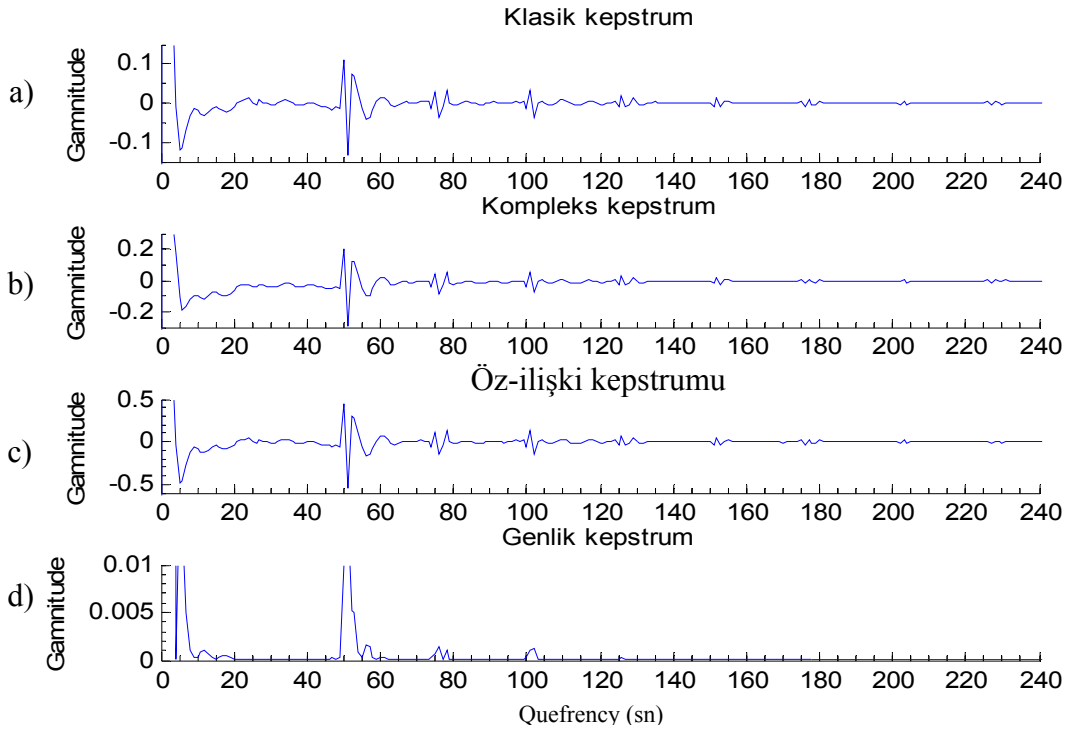
Şekil 180. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=55^{\circ}.1$)



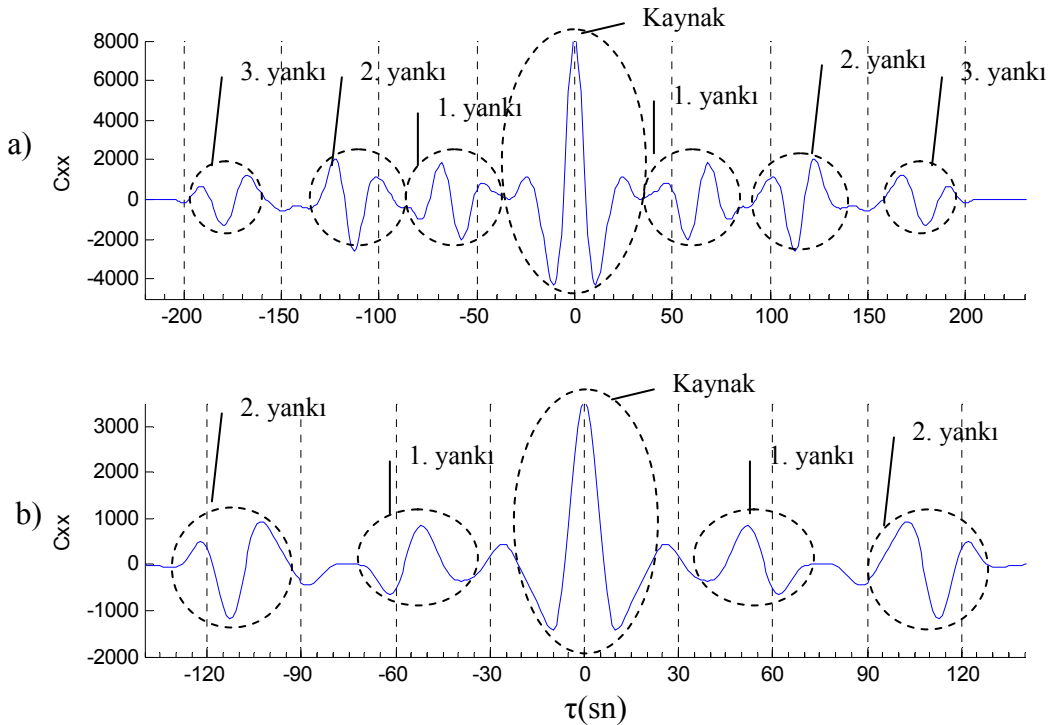
Şekil 181. Şekil 180 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 182. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=55^0.1$)



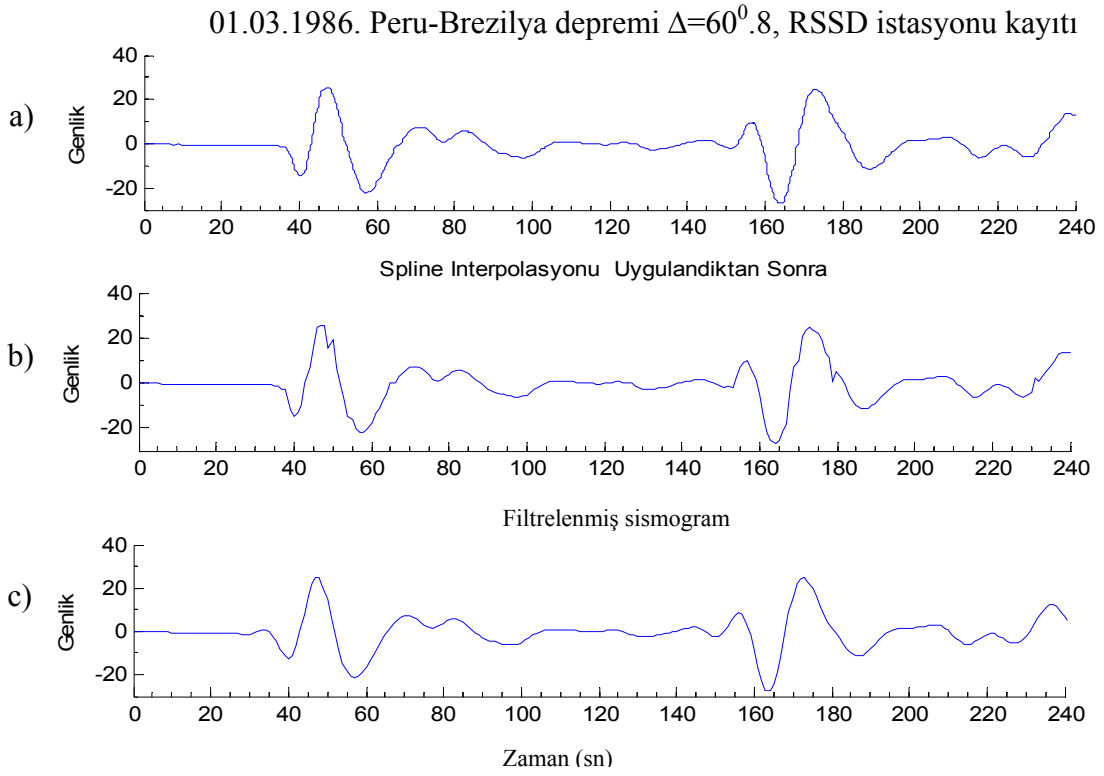
Şekil 183. Şekil 182 c’deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri



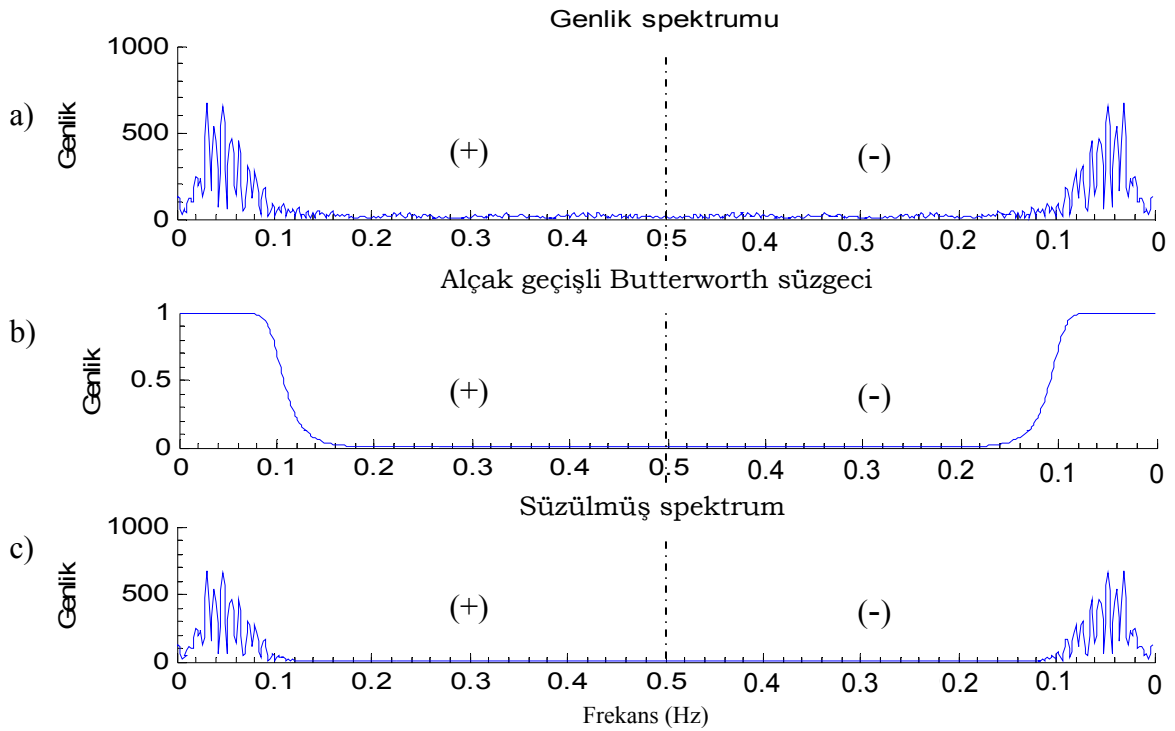
Şekil 184. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=55^0.1$)

Dördüncü kayıt; deprem ile kayıt istasyonu arasında $\Delta=60^{\circ}.8$ 'lik bir episantr uzaklığı olan düşey bileşen kayıdır (Şekil 185). Şekil 185 a'daki deprem kaydının P fazlarına ait en son hali, spline interpolasyonu, genlik spektrumu hesaplanması ve alçak geçişli Butterworth filtresiyle süzülmesi sonucu kalan filtrelenmiş genlik değerleri Şekil 186 c'de verilmiştir. Filtreleme işlemi yapıldıktan sonra verimizin zaman ortamında P fazlarının olması gereken zaman değerleriyle (IASP91'e göre) birlikte gösterimi Şekil 187 a'da yapılmıştır. Ayrıca Şekil 187 c'de, çözümü aranan dalga fazlarını kapsayan uygun bir pencere ile pencerelenmiş veri gösterilmektedir. Bu veri üzerinden alınacak kepstrum ve öz-ilişki sonuçları da Şekil 188 ve Şekil 189'da verilmiştir.

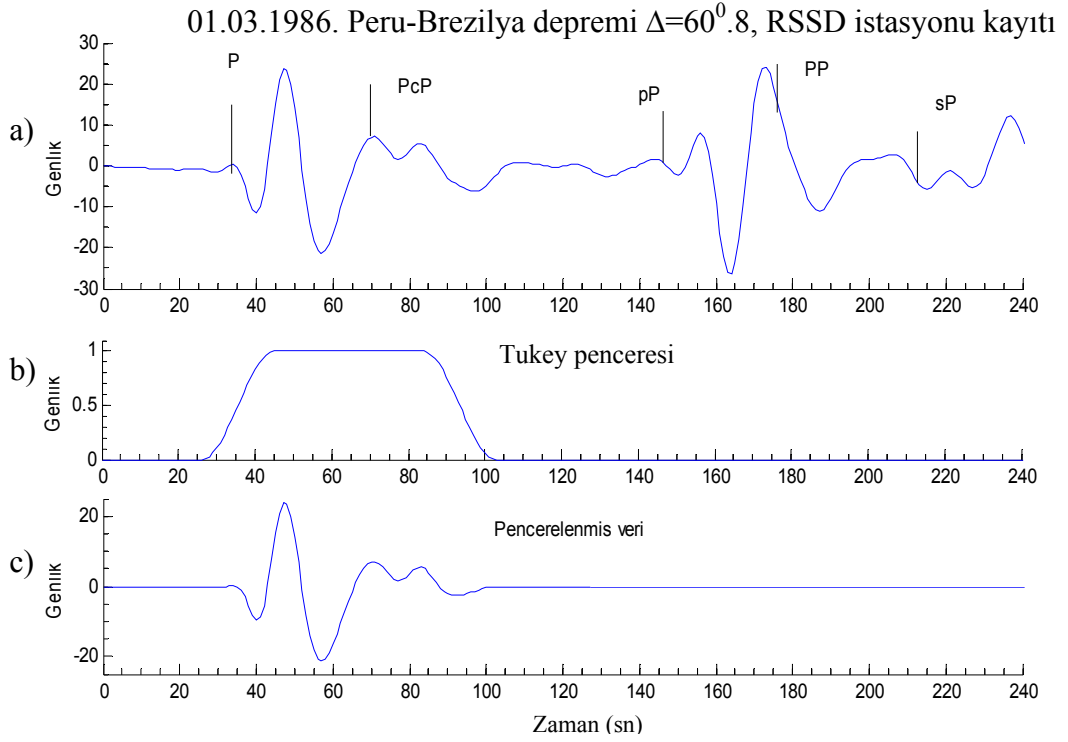
Kepstrum sonuçlarına göre P-PcP fazı arasında 38 sn'lik bir gecikme zamanı farkı bulunmuştur. Bu fark zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre bulunan 36.16 sn değerine yakındır. Öz-ilişkiden bulunan gecikme zamanı farkı, Şekil 189 a'daki öz-ilişki sonucu pencerelenmemiş veriye ait olduğu için yaklaşık 120 sn'de belirgin bir etki vardır. IASP'91 modeline göre 120 sn'lerde pP fazı gözlenmesi gerekmektedir. Burada bulunması amaçlanan PcP fazının P fazından olan zaman farkı için öz-ilişki sonucuna bakarak bir ayırım yapılması güç olmaktadır (Şekil 189 b). Bunun nedeni P fazı kaynak olarak düşünüldüğünde yankısı yani PcP fazı ile aralarındaki zaman farkının az olmasıdır. Dolayısıyla ayırım yapmak çok zorlaşmaktadır. P-PcP fazlarının arasındaki faz farkları için kepstrum sonuçlarından 135° - 180° arasında olduğunu söylenebilir.



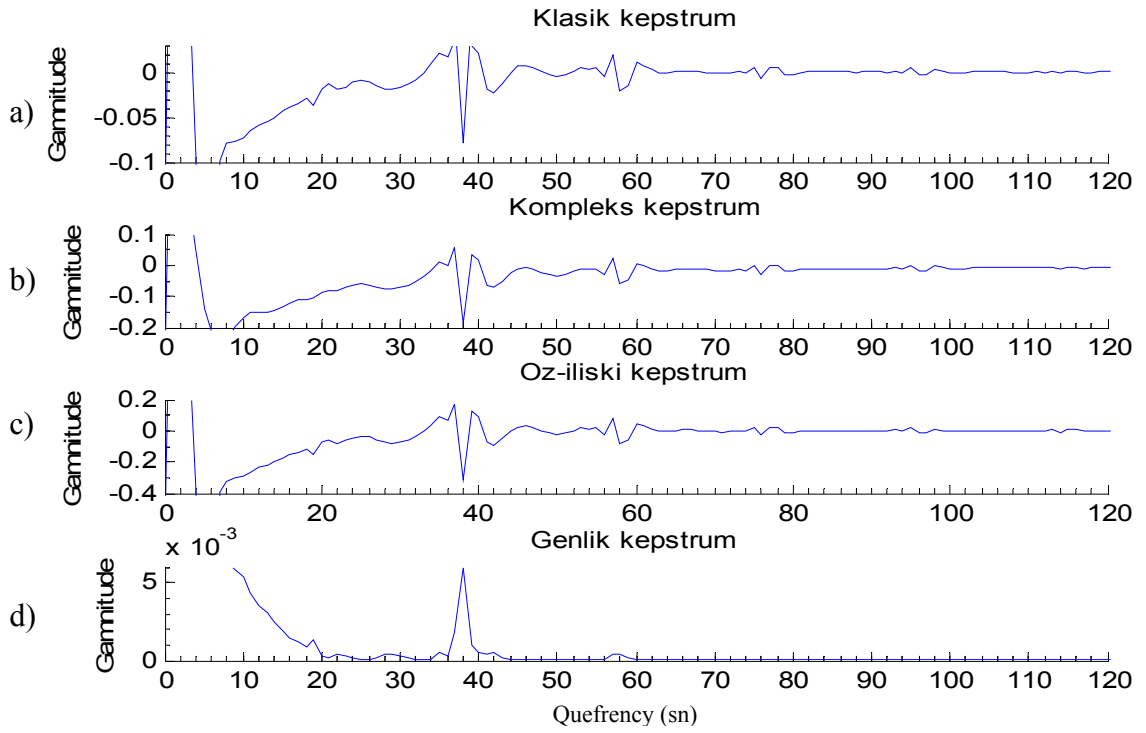
Şekil 185. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=60^0.8$)



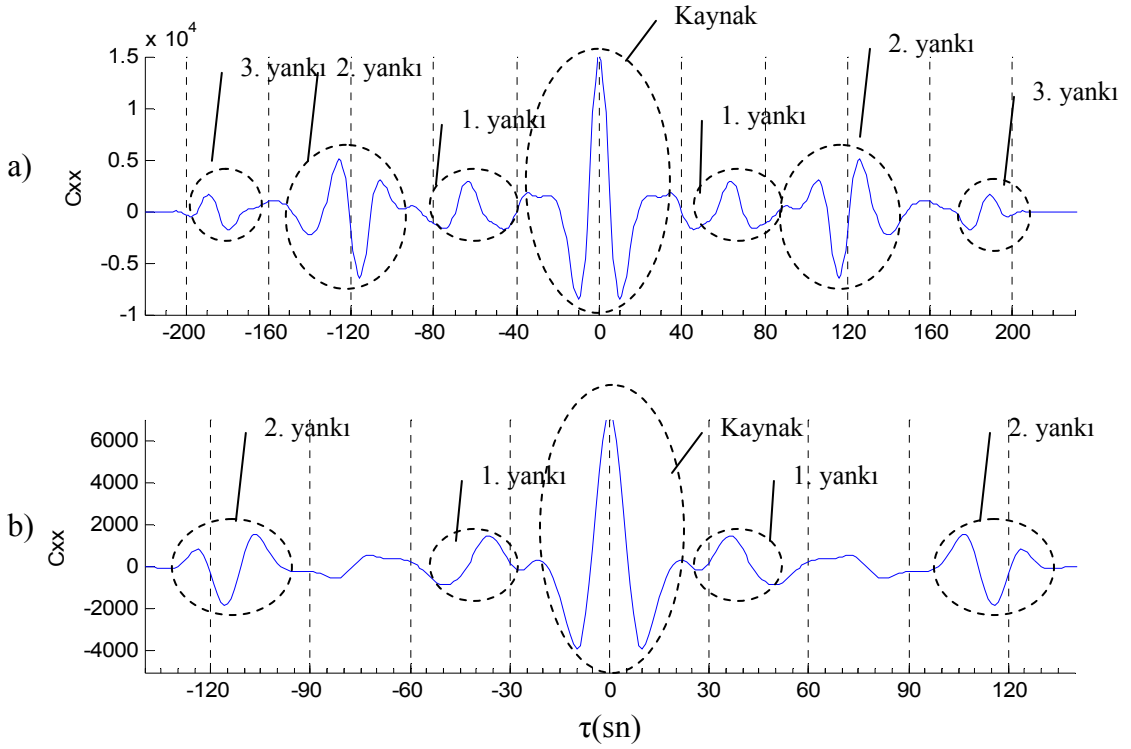
Şekil 186. Şekil 185 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 187. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=60^0.8$)



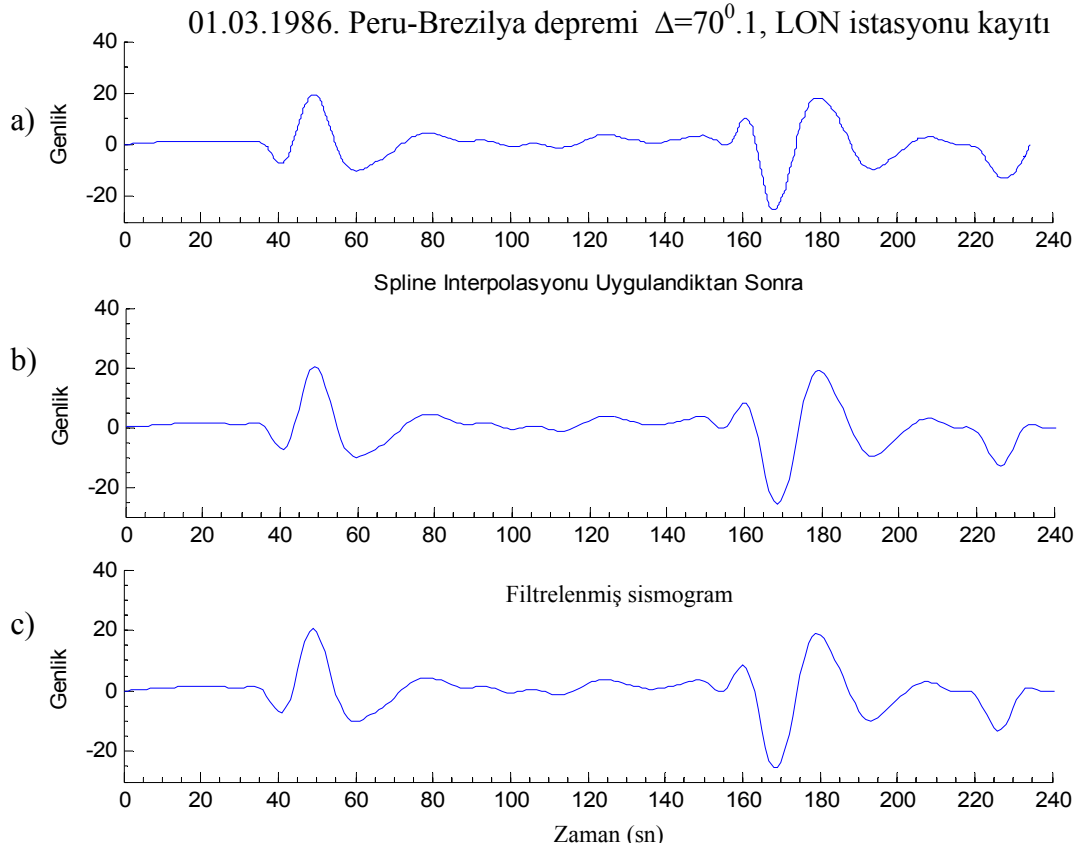
Şekil 188. Şekil 187 c'deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri



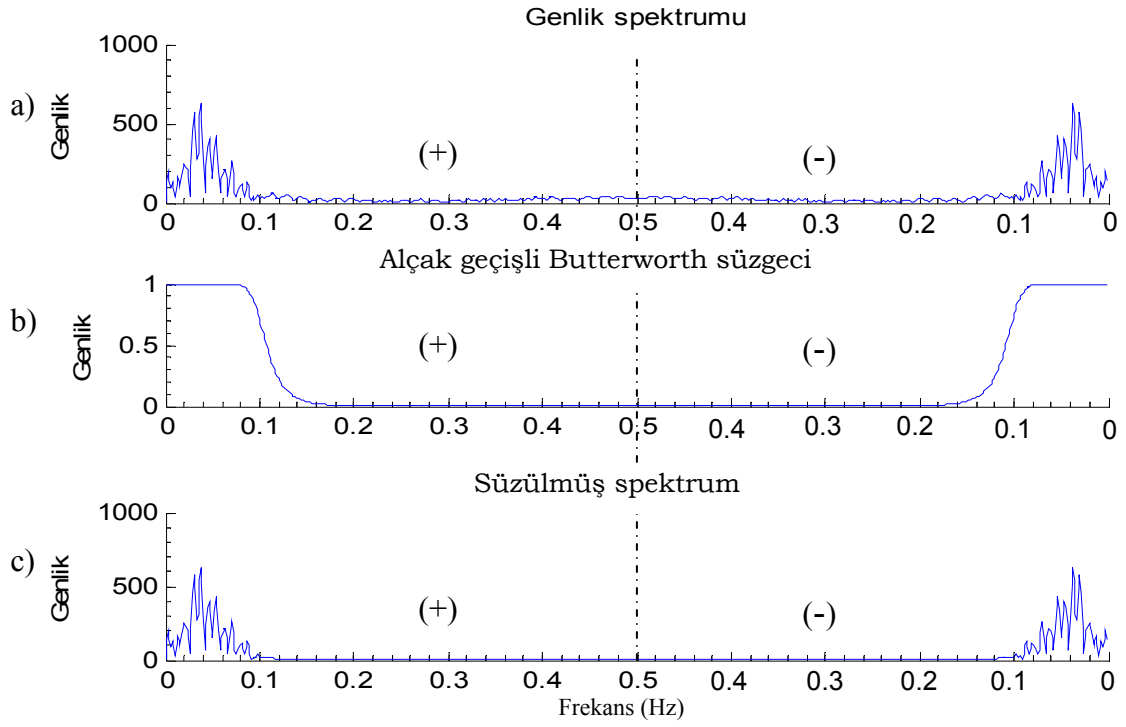
Şekil 189. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerenlenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerenlenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=60^0.8$)

Beşinci kaydın episantr uzaklığı $\Delta=71^0.6$ 'dir. Kayıt istasyonu ile depremin episantr merkezi arasındaki uzaklık arttıkça depremin P dalga fazı ile PcP dalga fazları arasındaki zaman farkı gittikçe azalmaktadır. Şekil 190 a'da, sayısal hale dönüştürülmüş ham şekildeki deprem kaydı gösterilmektedir. Bu verinin içerisinde P fazlarına ait bileşenin genlik spektrumu Şekil 191 a'da gösterilmiştir. Yine veri üzerindeki yüksek frekans etkilerini ortadan kaldırmak için, alçak geçişli bir Butterworth filtresiyle filtrelenmiştir (Şekil 191). Gürültüler büyük ölçüde elimine edilip diğer veri-işlem aşamaları uygulandıktan sonra Şekil 192 a'da verinin son hali gösterilmektedir. Şekil 192 a üzerinde ayrıca P dalga fazlarının zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre olması gereken geliş zamanlarının yerleri işaretlenmiştir. Daha sonra kepstrum ve öz-ilişki için bulmak istenilen dalga fazlarını içeren uygun bir pencere fonksiyonuyla pencerenlenmiştir (Şekil 192 c). Pencerenlenen veriye ait üç farklı kepstrum sonuçları Şekil 201'de gösterilmektedir. Şekil 193'te bulunan sonuçlara göre P-PcP dalga fazları arasındaki zaman farkı 16 sn'dir. Şekil 194'de iki tane öz-ilişki fonksiyonu gözükmemektedir. Yukarıda da değinildiği gibi ilki tüm P fazlarını içeren sinyale ait, diğeri ise Şekil 192 c'deki pencerenlenmiş fonksiyona ait öz-

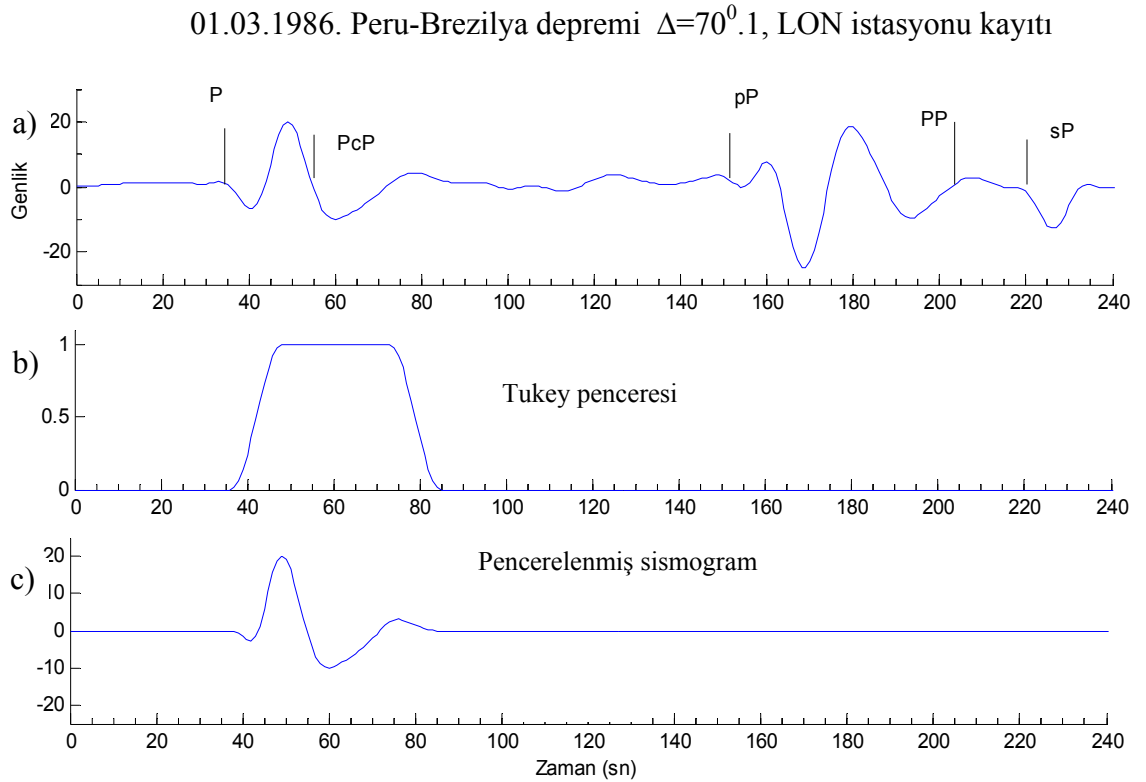
ilişki sonucudur. Şekil 194 a'daki öz-ilişki fonksiyonu grafiğinde sadece 120 sn civarında bir dalgalanmadan söz edilebilir. Bu zaman değeri için IASP91 modelinde karşılık olarak P-pP fazı arasındaki zamana denk gelmektedir. Şekil 194 b öz-ilişki fonksiyonu grafiğinde ise ayırım yapılacak zamansal farklılık görülememiştir. Faz yapısı olarak P-PcP arasında kepstrum sonuçlarından yine 135^0 - 180^0 arasında bir faz farkı olduğu söylenebilir.



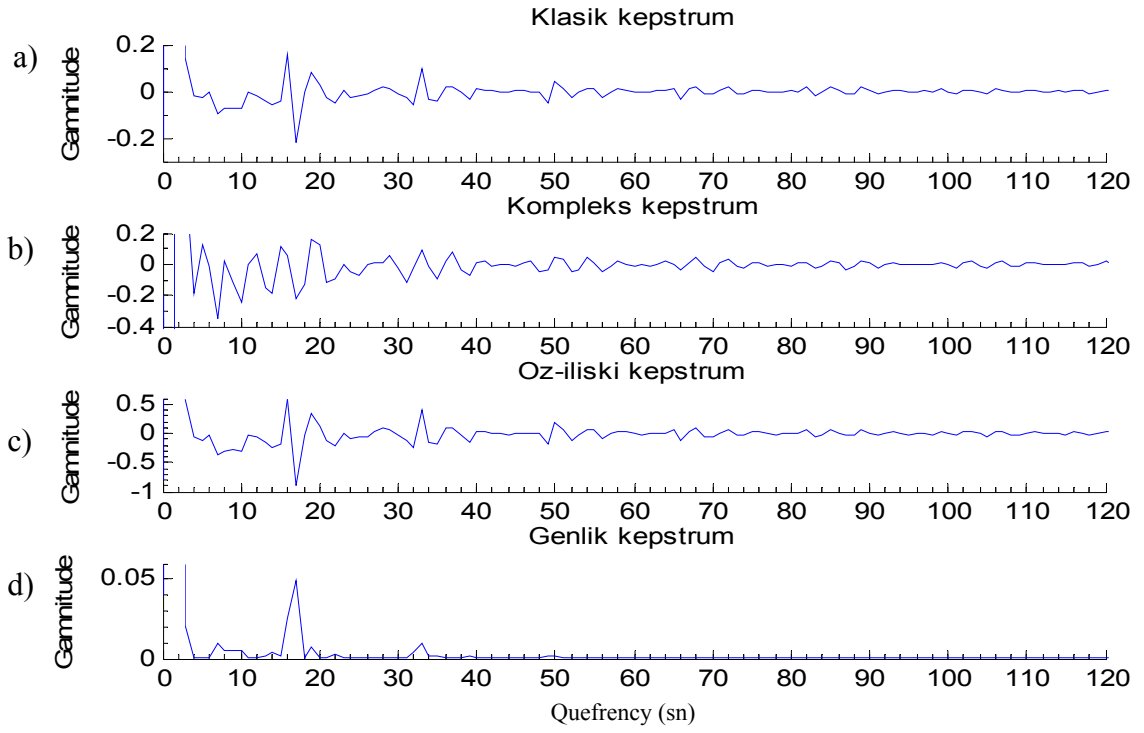
Şekil 190. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=71^0.6$)



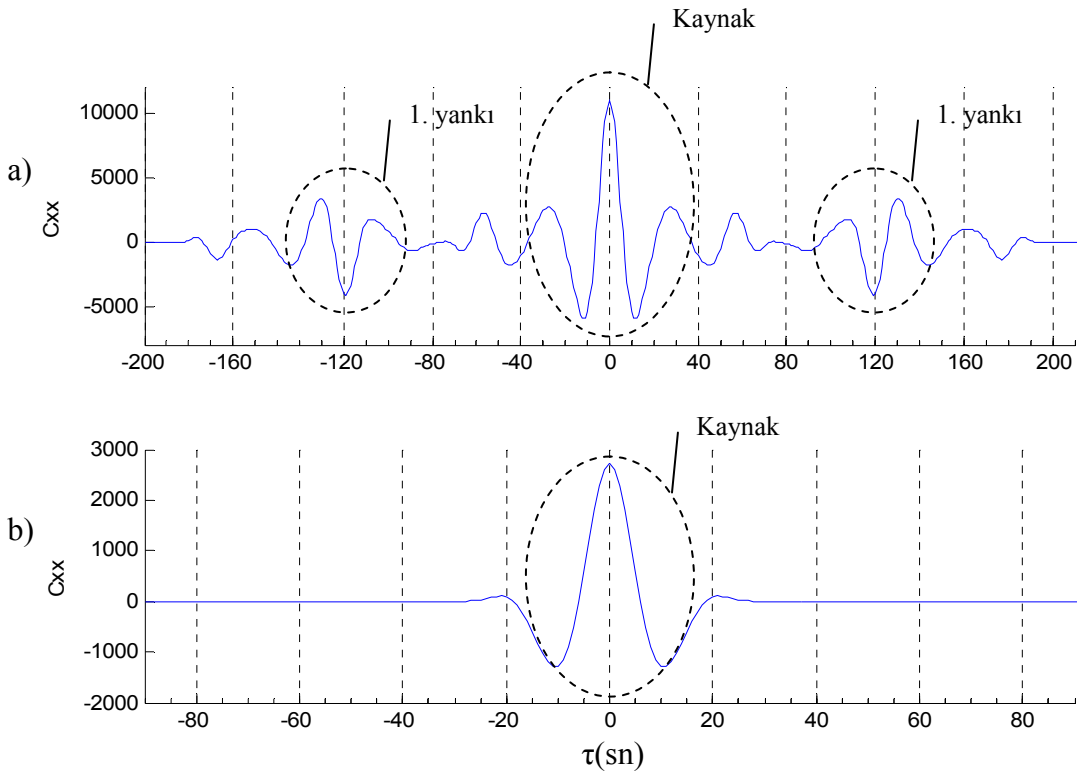
Şekil 191. Şekil 190 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 192. a) IASP91’e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=71^0.6$)

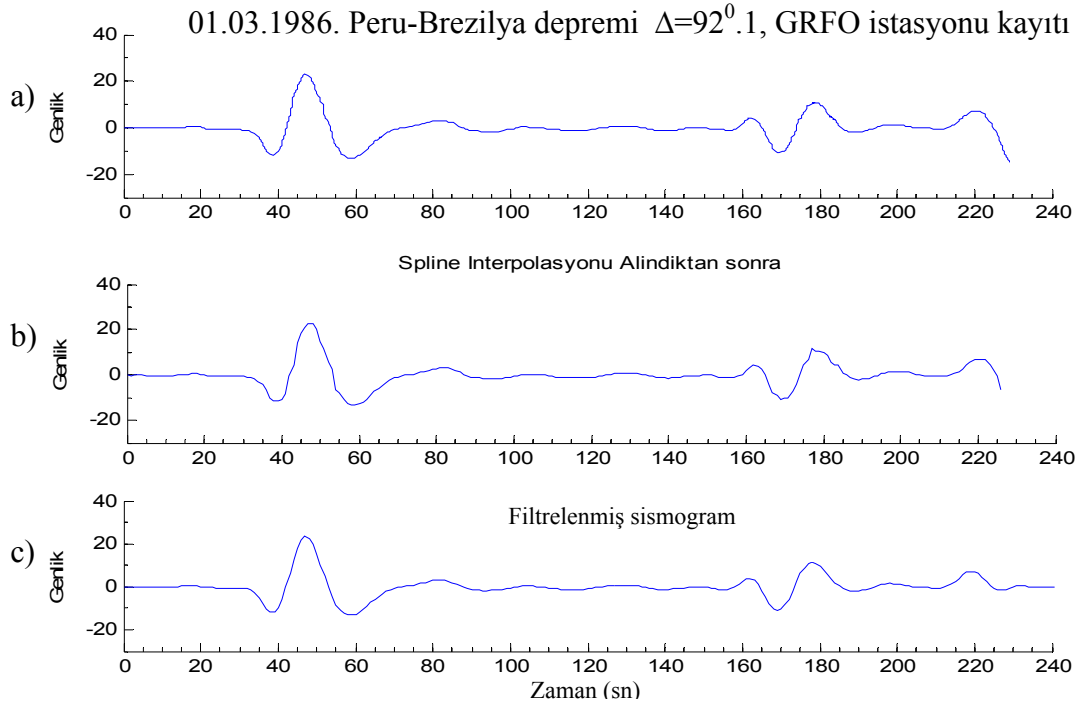


Şekil 193. Şekil 192 c' deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, b) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri

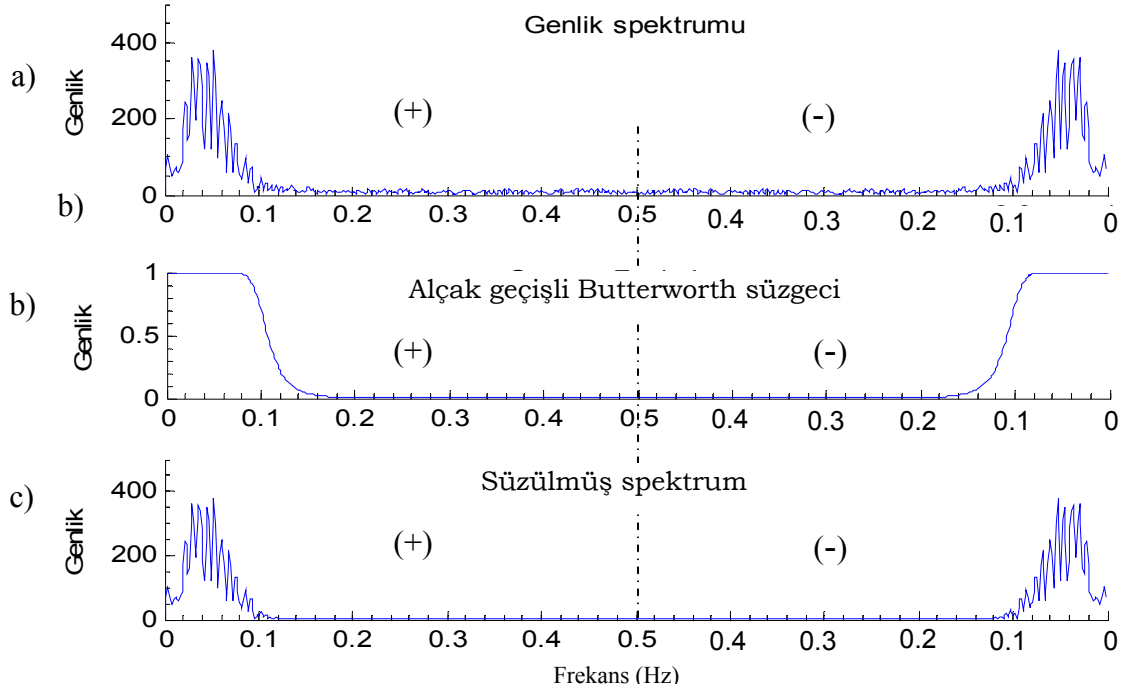


Şekil 194. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelenmemiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelenmiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=71^{0.6}$)

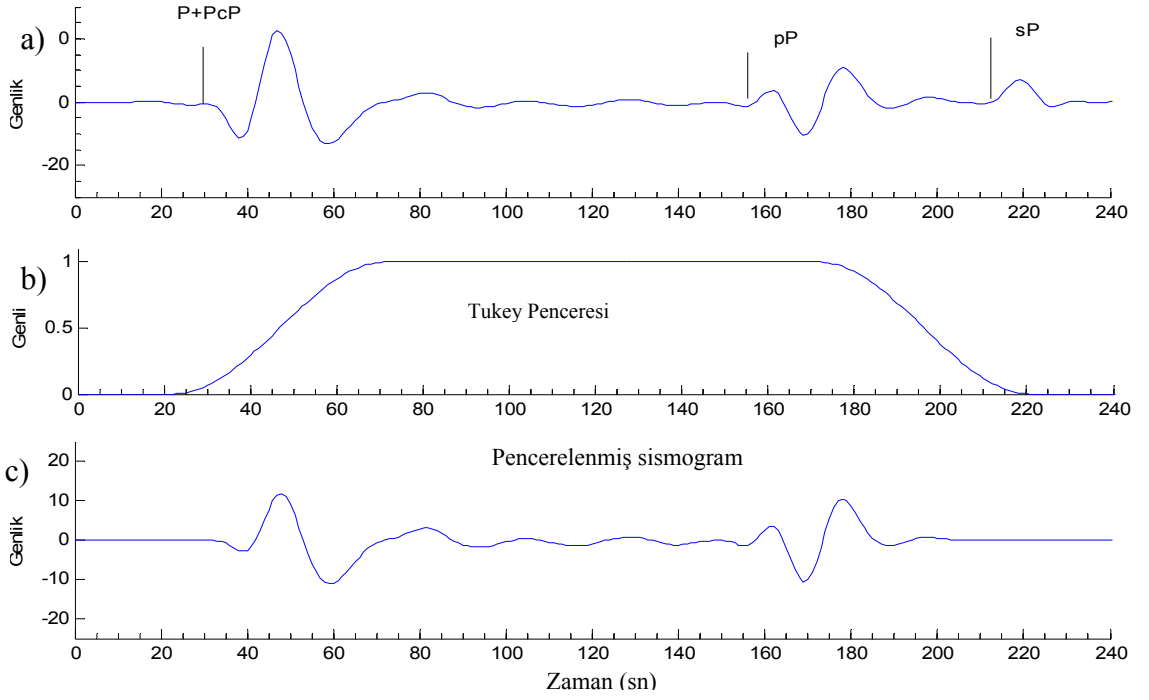
Episantr uzaklığı $\Delta=92^0.1$ olan altıncı istasyona (GRFO) ait sayısallaştırılmış kayıt Şekil 195 a'da gösterilmektedir. Şekil 195'te sayısallaştırılmış, Spline interpolasyonu alınmış ve filtrelenmiş veriye ait sonuçlar ayrı ayrı grafikler halinde gösterilmektedir. Filtreleme işleminin uygulanışı Şekil 196'da gösterilmektedir. Bu şekilde alçak geçişli Butterworth filtresiyle filtrelenmiş sinyalin zaman-uzaklık tablosuna göre (IASP'91) oluşması gereken zaman değerleri için P dalga fazları Şekil 197 a'da işaretlenmiştir. İşaretlenen bu fazlara ait aranılan faz bileşenleri için uygun bir pencereleme yapılarak kepstrum için veri hazır hale getirilmektedir. Şekil 198'de üç farklı kepstrum sonucu için P+PcP-pP fazları arasındaki zaman farkı 120 sn olarak bulunmuştur. Aynı sonuç Şekil 199'da gösterilen öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından da görülebilir. Burada P fazı ile PcP fazı episantr uzaklığına bağlı olarak kayıt istasyonuna yaklaşık eş zamanlı olarak gelmektedir. Bu yüzden kaydedilirken üst üste binerek tam bir girişim göstermektedirler. Bu yüzden bu iki fazın ayrımı yapılamamış ve bu toplam faz ile pP fazı arasındaki gecikme zamanı ilişkisi incelenmiştir. Bu P-pP fazları arasındaki faz farkı olarak kepstrum sonuçlarından yaklaşık 180^0 'lik bir farkın olduğunu söylenebilir (Şekil 198). Aynı sonuç Şekil 199 b'deki öz-ilişki fonksiyonu sonucundan yani pencerelenmiş veri için bulunan sonuçtan da söylenebilir. İlk öz-ilişki grafiği pencereleme yapılmadan alındığı için diğer P fazlarını da içermektedir. Bu yüzden zamansal olarak yine 120 sn'de bir değişim göstermesine rağmen faz yapısı için 270^0 - 360^0 arası bir faz farkının varlığından söz edilebilir. Bu da kepstrumdan elde edilen sonuçlarla örtüşmediği için yanlış bir yorumlamaya sebep olmaktadır.



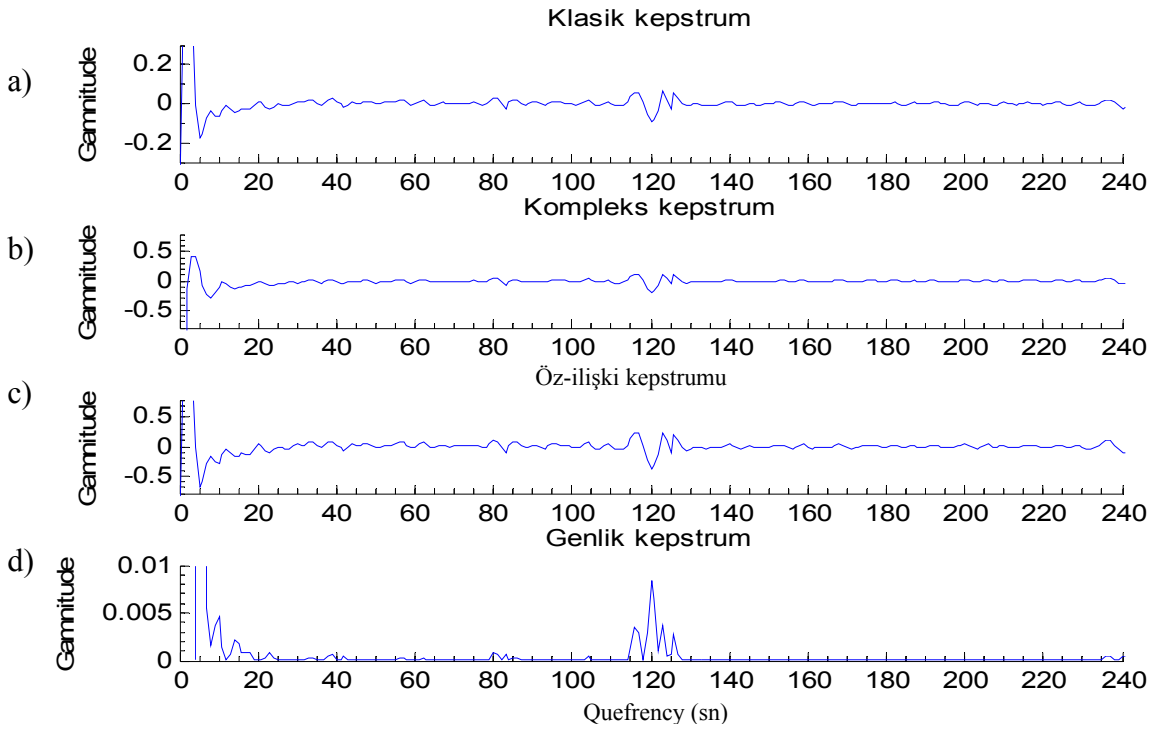
Şekil 195. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=92^{\circ}.1$)



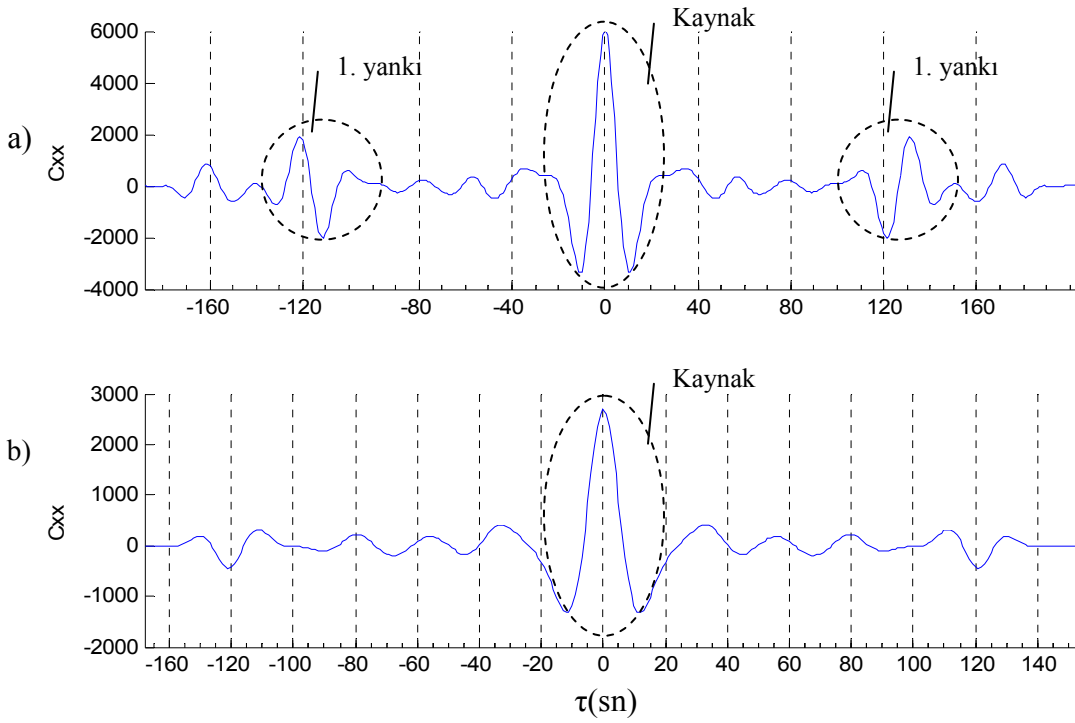
Şekil 196. Şekil 195 b'de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum

01.03.1986. Peru-Brezilya depremi $\Delta=92.1^0$ GRFO istasyonu kayıtu

Şekil 197. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelemiş sismogram ($\Delta=92^0.1$)

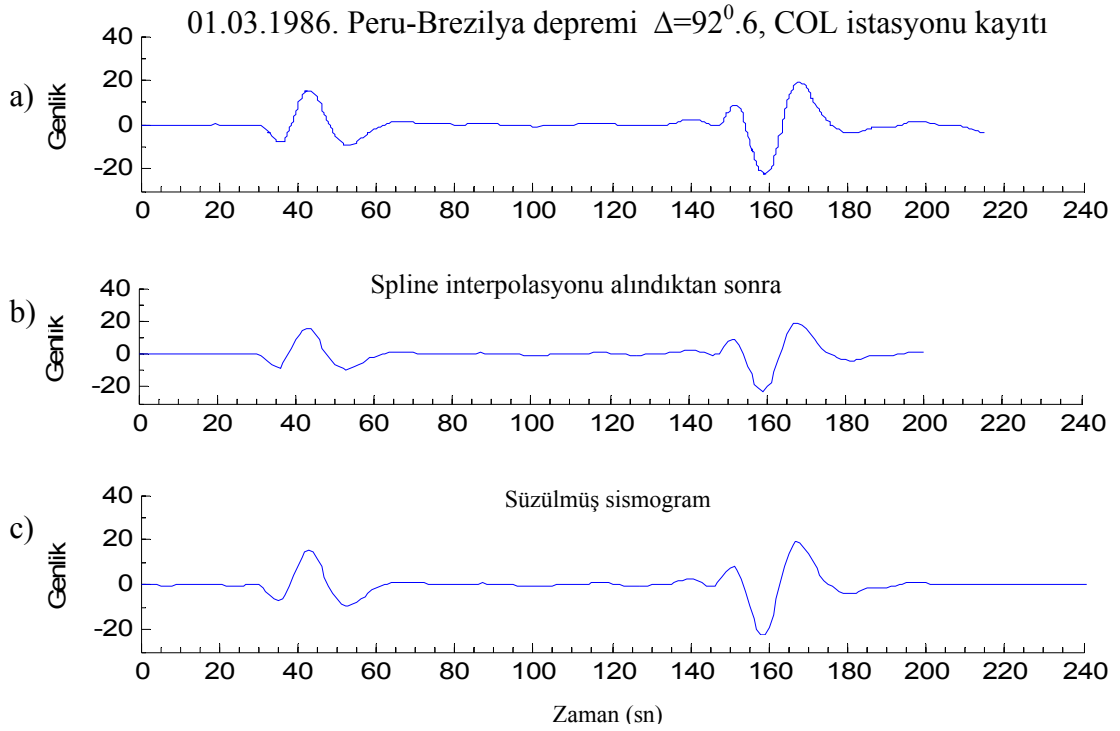


Şekil 198. Şekil 197 c'deki pencerelemiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri

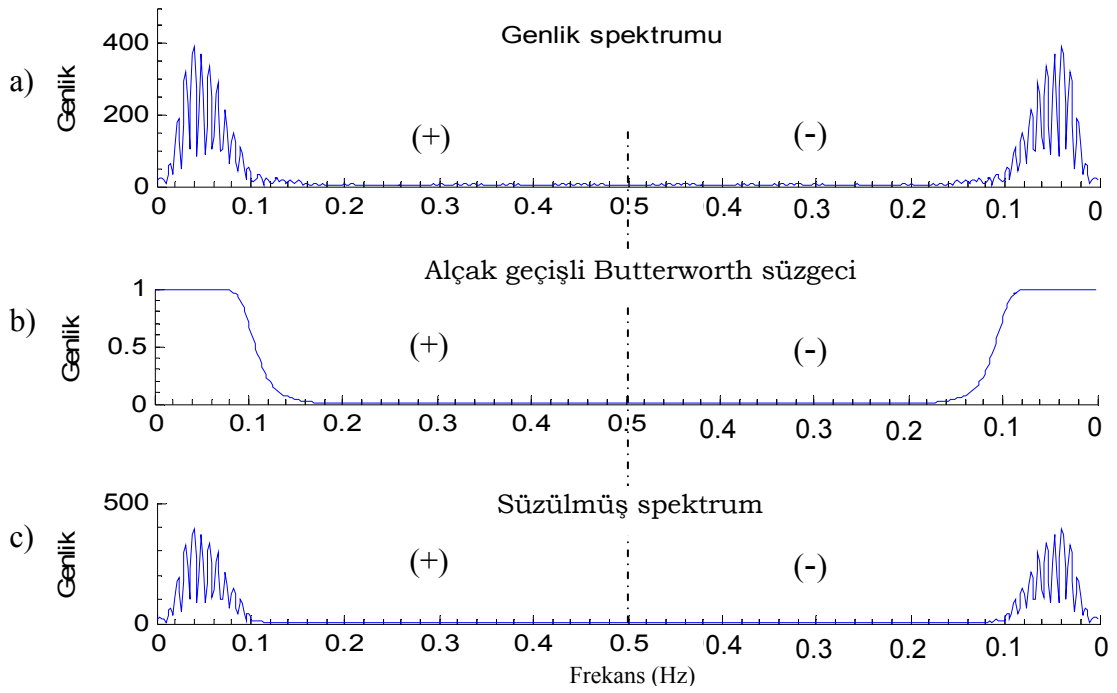


Şekil 199. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=92^{\circ}.1$)

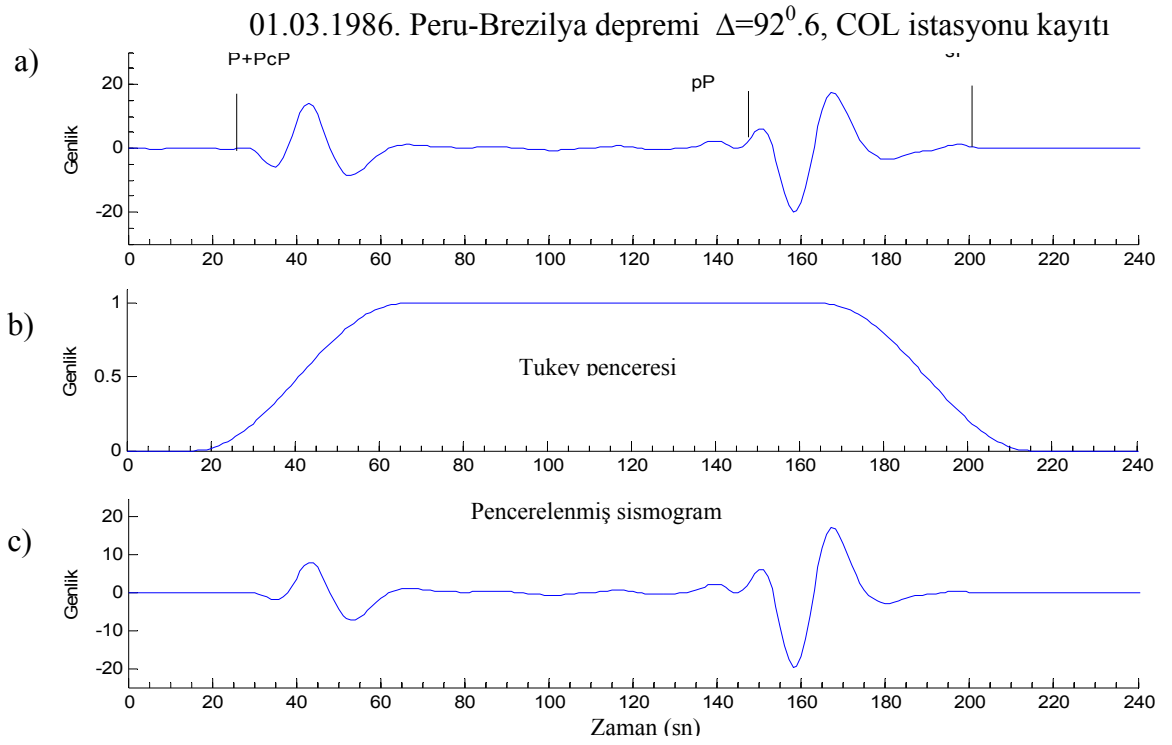
En son kayıt olarak aynı depremin episantr uzaklığı $\Delta=92^{\circ}.6$ olan COL istasyonuna ait deprem sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan bu deprem kaydı Şekil 200'de verilmektedir. Yine uygulanan iyileştirme çalışmaları sonucunda elde edilen kayıt Şekil 202 c'deki en son filtrelenmiş veridir. Filtreleme için yapılan uygulamalar Şekil 201'de verilmiştir. Veri filtrelendikten sonra bulunması gereken dalga fazları geliş (IASP'91) zamanları Şekil 202 a'da gösterilmektedir. Bu grafik üzerinde aranan fazlara ait yine uygun bir Tukey penceresiyle pencereleme yapılarak, pencerelemiş verinin kepstrum sonuçları Şekil 203'te gösterilmiştir. Bu şekil üzerinde yine P+PcP fazı ile pP fazı arasındaki bulunan zaman farkı 118 sn'dir. Bu veriye ait öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından bulunan zaman farkı da yaklaşık 120 sn civarındadır (Şekil 214). Hesaplanan kepstrumlar üzerinde gözle yapılan incelemeler sonucunda P+PcP fazı ile pP fazı arasındaki faz farkları 315° - 360° arasındadır (Şekil 203). Öz-ilişki fonksiyonu grafiğinden ise yine benzer faz farklarının olduğu gözükmemektedir (Şekil 204). Faz bileşenleri ile ilgili açıklamalar daha öncede değinildiği gibi tamamen yapay veriler üzerinden edinilen bilgi ve deneyimlerden söylenebilmektedir.



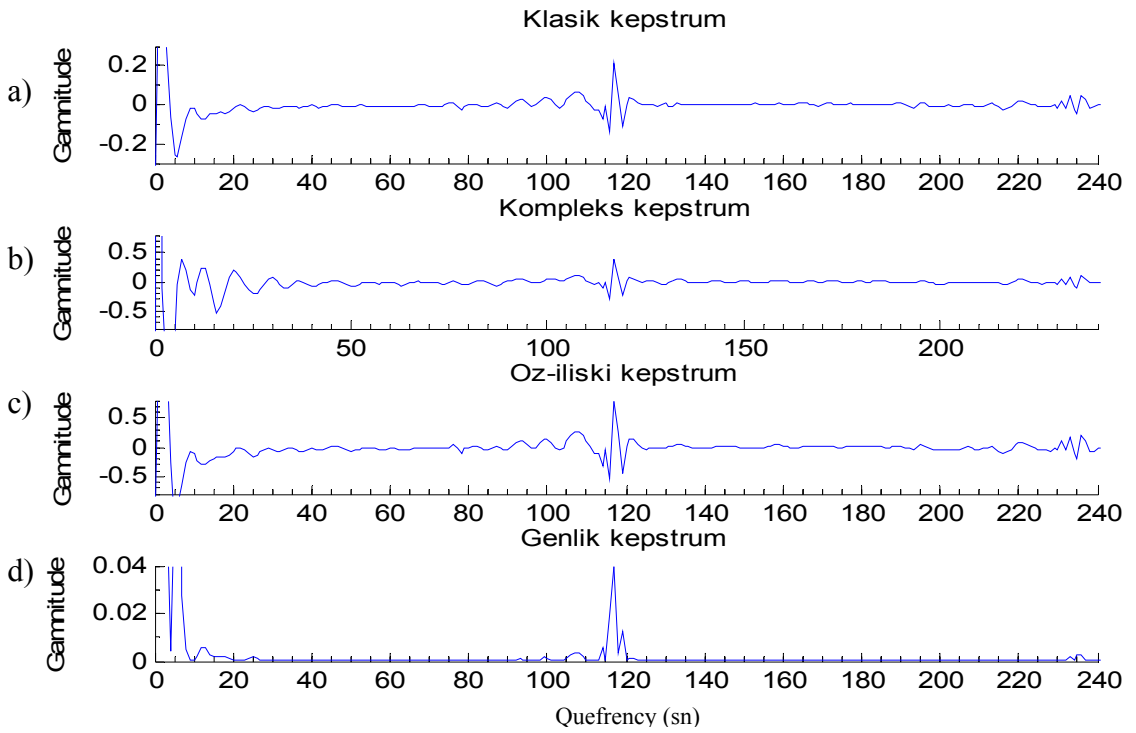
Şekil 200. Peru-Brezilya depremine ait, a) Sayısallaştırılmış sismogram, b) Spline interpolasyonu uygulanmış sismogram, c) Filtrelenmiş sismogram ($\Delta=92^{\circ}.6$)



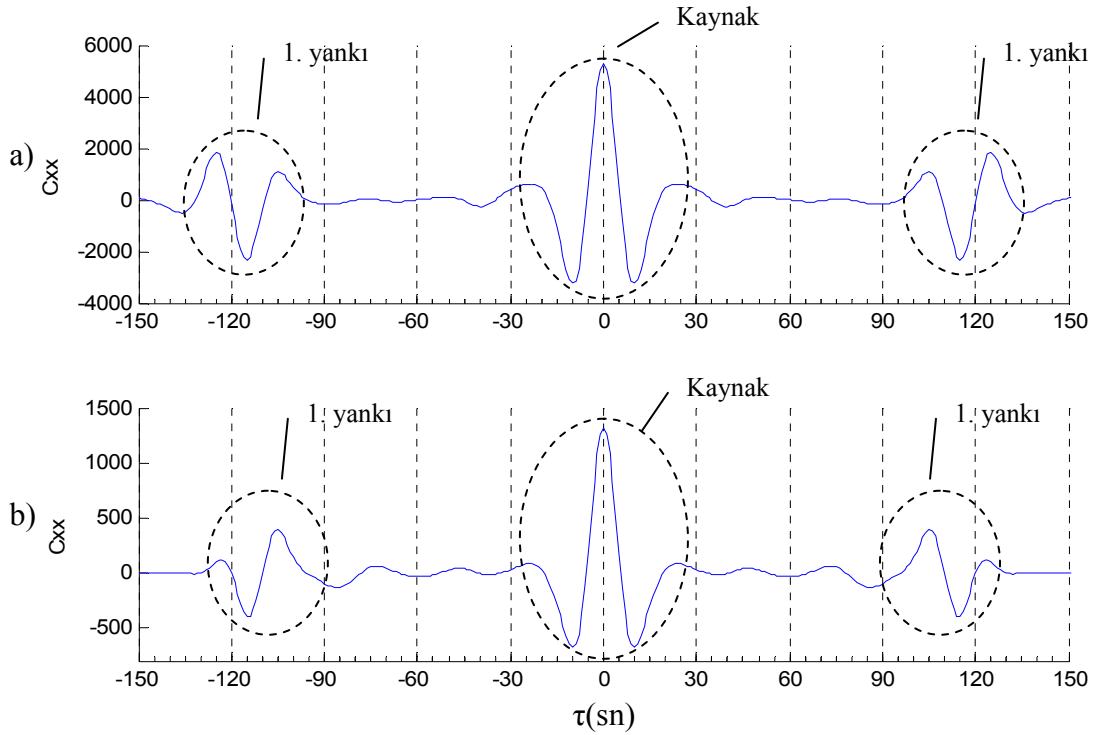
Şekil 201. Şekil 200 b’de gösterilen deprem kaydının, a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth süzgeci, c) Filtrelenmiş spektrum



Şekil 202. a) IASP91'e göre P fazlarının geliş zamanlarının filtrelenmiş sismogram üzerine işaretlenmesi b) Tukey penceresi, c) Pencerelenmiş sismogram ($\Delta=92^{\circ}.6$)



Şekil 203. Şekil 202 c'deki pencerelenmiş sismogramın, a) Klasik Kepstrumu, c) Kompleks Kepstrumu, c) Öz-ilişki Kepstrumu, d) Klasik Kepstrumun mutlak değeri



Şekil 204. Peru-Brezilya depremine ait, a) Pencerelememiş sismogram için öz-ilişki, b) Pencerelemiş sismogram için öz-ilişki fonksiyonu sonuçları ($\Delta=92^{\circ}.6$)

Gerçek bir deprem verisi üzerinde yapılan Kepstral analiz çalışması için ikinci olarak K.T.Ü. “TBZ” deprem istasyonunda kayıt edilmiş iki adet deprem kaydı kullanılmıştır. Kayıt edilen bu depremlerden ilki Banda Sea bölgesinde olup 02.03.2005 tarihli depremin K.T.Ü. “TBZ” kayıt istasyonu uzun periyot düşey bileşen kaydıdır. Bu depreme ait parametreler; 02.03.2005, $-6^{\circ}.57K$, $129^{\circ}.84D$ $d = 193$ km, $M_w = 7.1$ Banda-Sea depremi olup kayıt istasyonuna $\Delta = 94^{\circ}.3567$ uzaklıktadır. K.T.Ü. “TBZ” istasyonunun koordinatları ise $40^{\circ}.99K$, $39^{\circ}.77D$ ’dur. Şekil 205’te alınan kaydın koordinatlarına göre depremin episantır yeri gösterilmektedir. Banda Sea depreminin episantır noktasıyla K.T.Ü. “TBZ” kayıt istasyonu arasındaki mesafe ise Şekil 206’da verilmektedir. Deprem, episantır mesafesi olarak uzak alan bir deprem, derinlik olarak ise de orta derinlikte deprem sınıflamasının içine girmektedir.

Alıcı istasyonu olarak K.T.Ü. “TBZ” üç bileşen geniş band deprem istasyonu kaydı kullanılmıştır. Kayıt 20 sn örnekleme aralığı ile alınmıştır. Alınmış olan kayıt örneği Şekil 207 a’da gösterilmektedir. Şekil 207 b’de ise kaydın 1 saat 10 dakika olan toplam süresinin ilk 25 dakikalık kısmı gösterilmiştir. Bu iki kayıt üzerinden gözle kabaca cisim dalgaları ile

yüzey dalgalarının ayrımı yapılabilmektedir. İlgilenilen dalga fazlarının daha ayrıntılı görülebilmesi için tüm deprem kaydı içerisinde istenilen dalga fazlarının bulunduğu kısım daha küçük zaman periyodu için daha ayrıntılı bir biçimde görüntülenebilir. Burada bulunmak istenen, hedef çalışma için ilgilenilen dalga fazları olan ve deprem oluşuktan sonra kayıt istasyonuna ilk gelen P, PcP, pP, PP, sP, dalgalarıdır. Yukarıdaki deprem fazları için de istasyona ilk gelecek olan P fazı hariç diğerler fazlar, deprem ile istasyon arası uzaklığa ve depremin derinliğine bağlı olacak şekilde değişmektedir. Şekil 216a'da Banda Sea depremine ait P dalga fazları gösterilmiştir. Bu dalga fazları zaman-uzaklık tablosu IASP'91'e ve varış sırasına göre sırasıyla P, PcP, pP ve sP olarak sıralanmaktadır. IASP'91'e göre teorik olarak bu dalga fazları arasında bulunması gereken zaman farkları;

$$P-PcP = 47.86 \text{ sn}$$

$$P-pP = 68.28 \text{ sn}$$

$$P-sP = 229.65 \text{ sn}$$

şeklindedir(Şekil 208 a). Öncelikli amaç P fazı ile ondan sonra gelecek olan PcP ya da pP fazı arasındaki gecikme farkını doğru bir şekilde bulabilmektir. Eğer aradaki zaman farkı doğru bir şekilde bulunabilirse daha sonra bu dalga fazlarına ilaveten diğer üçüncü dalga fazını (pP, sP) bulmaktır. Yapay modeller üzerinde de yapıldığı gibi öncelikli olarak 2 adet sinyalin girişmesinden oluşan durum çözülecek, uygun çözümler sağlanması halinde üçüncü bir sinyal daha pencere içine alınarak bu şekilde bir çözüm aranacaktır.

İlk olarak, alınan deprem kaydında ilgilenilen kısım depremin ilk kısmı ve çok küçük bir parçası olması nedeniyle tüm veriyi incelemektense depremin ilk P fazı başlangıç üzere ortalama birkaç P fazını da kapsayacak şekilde dikdörtgen penceresiyle pencerelenmiştir (Şekil 208 a). Buradaki amaç yukarıda değinildiği gibi tüm veriyle uğraşmaktansa ilgilenilen kısım için ve veri-işlem açısından kolaylık olması bakımından bu tür bir veri kısıtlamasına gidilmiştir. Bu şekilde veri ayrıldıktan sonra verinin eşit aralıklı örneklenmesi için bir spline interpolasyonu uygulanarak veri düzleştirilmiştir (Şekil 208 b). Spline alınmış haldeki veri frekans ortamına aktararak buradaki enerji yığılımlarına bakılmıştır. Veri içerisinde birçok etki girmiş olduğu için enerjiler geniş bir frekans bandında dağılmaktadır. Yapılacak uygulamalarda küçük enerjili yüksek frekanslı bileşenler genellikle gürültü olarak değerlendirilmektedir. Frekans

ortamındaki belirli frekans bantlarında bulunan düşük enerji seviyeli yüksek ve alçak frekansları elimine etmek için alçak ve yüksek geçişli bir süzgeç ardı ardına uygulanmıştır (Şekil 209 a,c). Yani Banda Sea depremi için bant geçişli bir Butterworth süzgeci uygulanmıştır. Banda Sea depremine ait genlik spektrumu ve filtreleme aşamaları ve filtrelenmiş genlik spektrumu Şekil 209'da gösterilmektedir. Şekildeki gibi bir filtreleme uygulandıktan sonra zaman ortamına dönmek için ters Fourier dönüşümü alınmıştır.

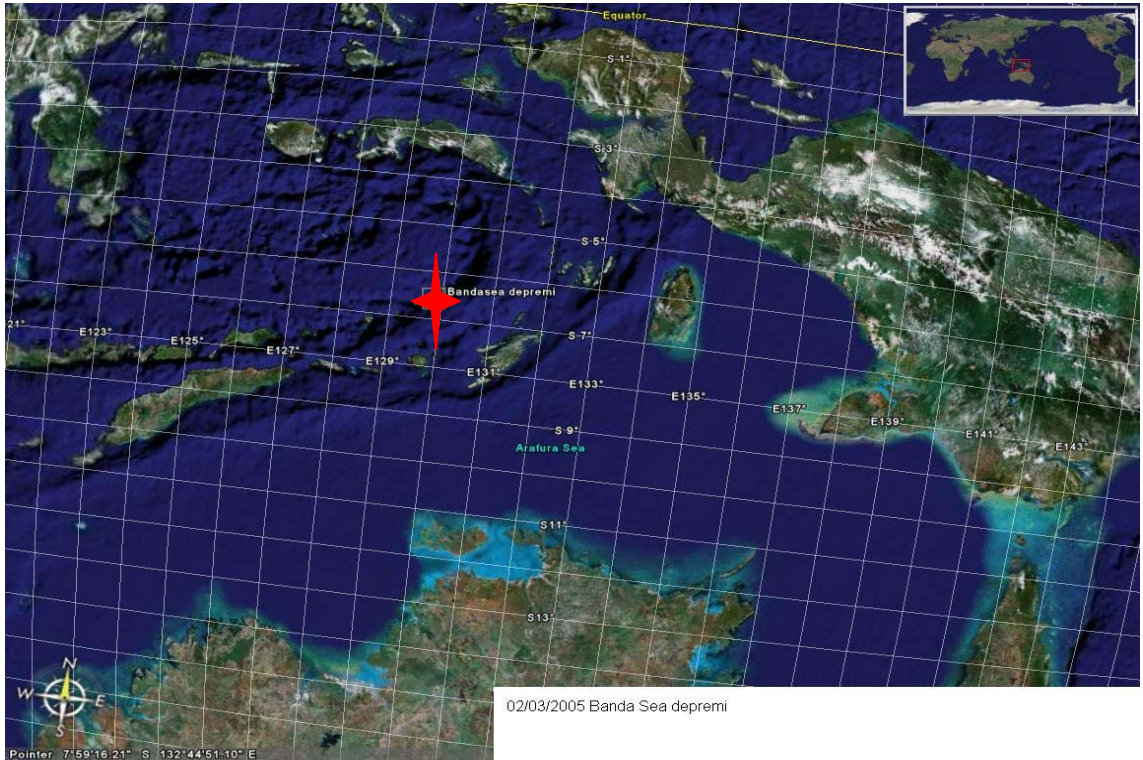
Zaman ortamına veri aktarıldıktan sonra 3 noktalı kayan ortalamaları alınarak veri biraz daha yuvarlatılmıştır. Kayan ortalamaları alındıktan sonra tekrar bir Spline interpolasyonu alınmış ve en son bulmak istenilen dalga fazlarını kapsayan uygun bir pencereleme yapılarak kepstrum işlemleri uygulanmıştır. Şekil 210'de yukarıda anlatılan veri-işlemler sonucu ortaya çıkan veri ve pencereleme sonucunda kalan sinyal gösterilmektedir. En son haldeki veri uygun bir pencere ile pencerelenmesi yapıldıktan sonra kepstrumu alınması için hazır hale gelmiş olacaktır. Bu şekilde hazırlanan veriye üç farklı kepstrum yöntemi ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise Şekil 211'de gösterilmektedir. Yapılan pencereleme sonucunda sadece ilk üç dalga fazı alınmıştır. Bu dalga fazlarına ait geliş zamanları (IASP'91) yukarıda verilmiştir. Bu sonuçlar ışığında bulunmuş kepstrum sonuçları da Şekil 211'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında IASP'91'e göre bulunan sonuçlara oldukça yakın değerler bulunmuştur. P-PcP için 47.86 sn bulunması gerekirken kepstrum sonucunda 47 sn, P-pP için 68.28 sn bulunması gerekirken 70 sn'lik bir gecikme zamanı farkı bulunmuştur. Şekil 211'de bir de çok küçük genlikli olarak 94 sn'de bir pik görülmektedir. Bu pik 47 sn'lik P-PcP fazları arasındaki gecikme zamanından kaynaklanan tekrarlı genlik değeridir ($2 \times 47 = 94$ sn). Şekil 211 d'de klasik kepstrumun mutlak değerinin alınmasıyla elde edilmiş bir sonuç gösterilmiştir. Mutlak değerini alarak dalga fazları arasındaki gecikme zamanlarının daha açık bir şekilde görülmesi amaçlanmaktadır.

Kompleks kepstrum sonucu için diğerlerinden farklı olarak negatif quefrensy'deki değerleri alınmıştır. Bunun nedeni deprem sinyalinin karışık fazlı olmasından ileri gelmektedir. Karışık fazlı bir sinyalin kompleks kepstrumu sonucunda minimum fazlı bileşenler orijinin sol tarafında maksimum fazlı bileşenler ise orijinin sağ tarafında dizilirler [10]. Bu durumda sinyali maksimum fazlı bir sinyal olarak isimlendirebilir. Bu durum daha önce yapay veriler üzerinde yapılan çalışmalarla da ortaya çıkarılmıştı.

Şekil 212'de bu depreme ait iki adet öz-ilişki fonksiyonu sonucu gösterilmiştir. İlki pencerelenmemiş Şekil 210 b'deki veriye ait, diğeri ise Şekil 210 d'deki gibi

pencerelenmiş verinin öz-ilişki fonksiyonu sonucudur. Sonuçlardan fazların ayrımı için net bir belirti gözlenmemesine rağmen kabaca bir bilgi elde edilebilir. Daha önce bulunan fazlar arasındaki zaman farkları için bu öz-ilişki fonksiyonu sonuçları değerlendirilmiştir. Her iki sonuç için yaklaşık 47 sn'de öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarında bir genlik farkı gözlenmektedir. Daha önceki yapay öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından da bu tür bir durumun aralarında faz farkı olan bileşenler üzerinde gözlemlendiği söylenebilir.

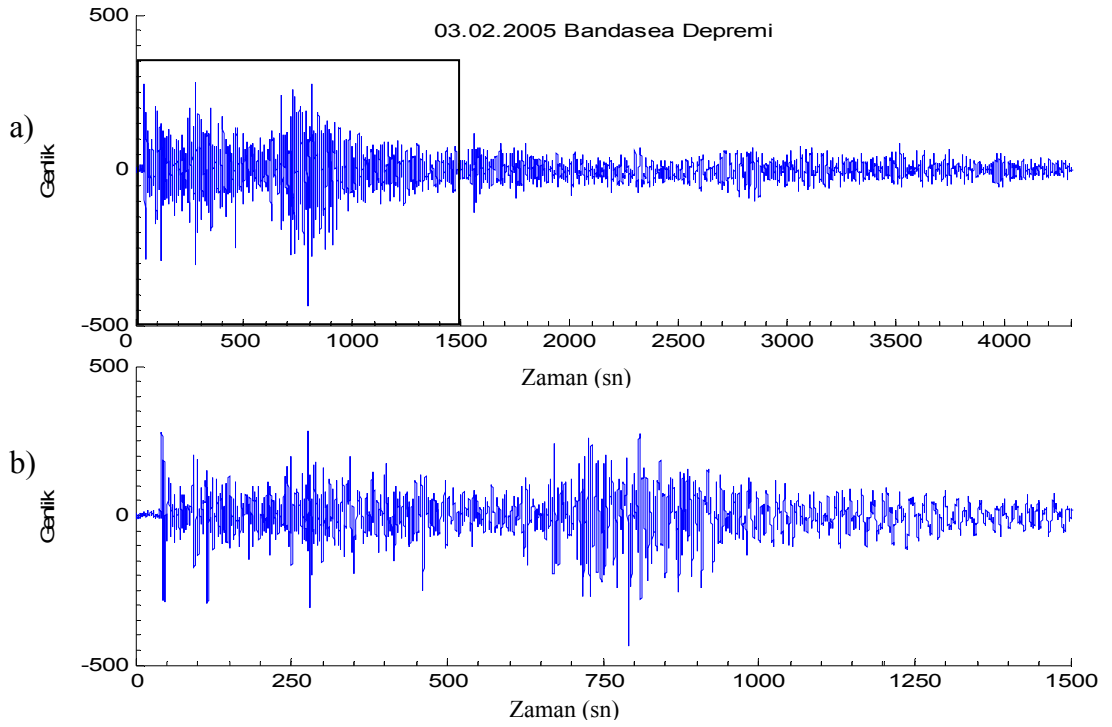
Faz bilgisi olarak her iki yöntem için ortak bir yorumlamaya gidilirse, 45^0-90^0 arasında bir faz farkı olduğu söylenebilir. Kepstrum sonuçlarında pozitif tarafta pikin büyük bir kısmı bulunurken negatif tarafta da daha az bir genlik değeri bulunmaktadır. Bu da yapay veriler üzerinde edinilen tecrübeyle yaklaşık 45^0 bir faz farkı olduğunu göstermektedir. Öz-ilişki sonucundan da aynı şeyler söylenebilir. Burada 67 sn'lik gecikme zamanı farkı için öz-ilişki fonksiyonu çözümünde belirgin bir fark gözlenmemektedir. Bunun nedeni öz-ilişki değerlerinin üst üste binerek beklenen zamanda bir belirti göstermemiş olabileceğidir.



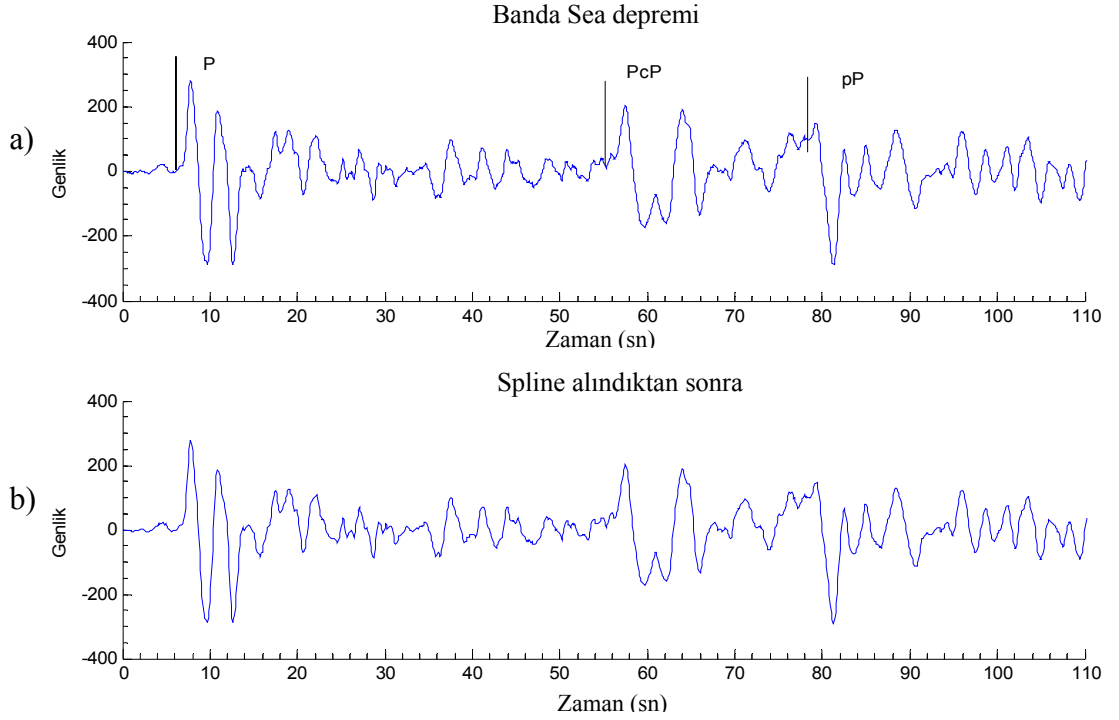
Şekil 205. Banda Sea depremi episantr noktasını gösterir harita [42]



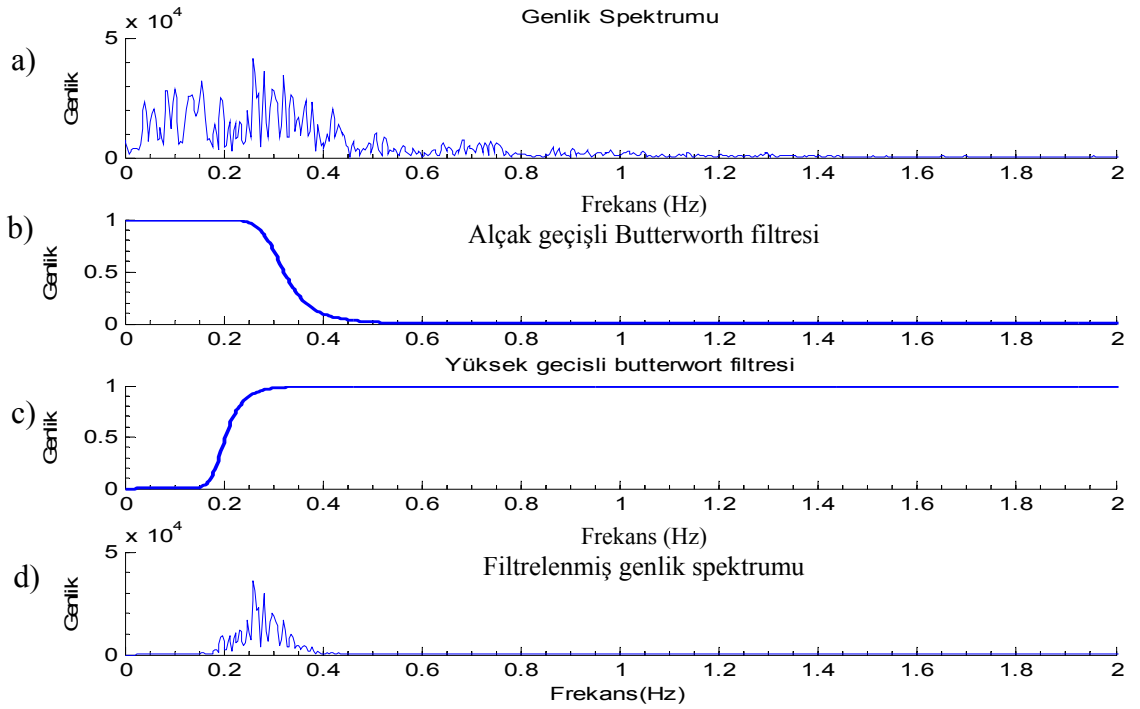
Şekil 206. Banda Sea depremi ile K.T.Ü. “TBZ” kayıt istasyonu arasındaki episantır mesafesini gösteren harita ($\Delta=94^{\circ}.3567$) [42]



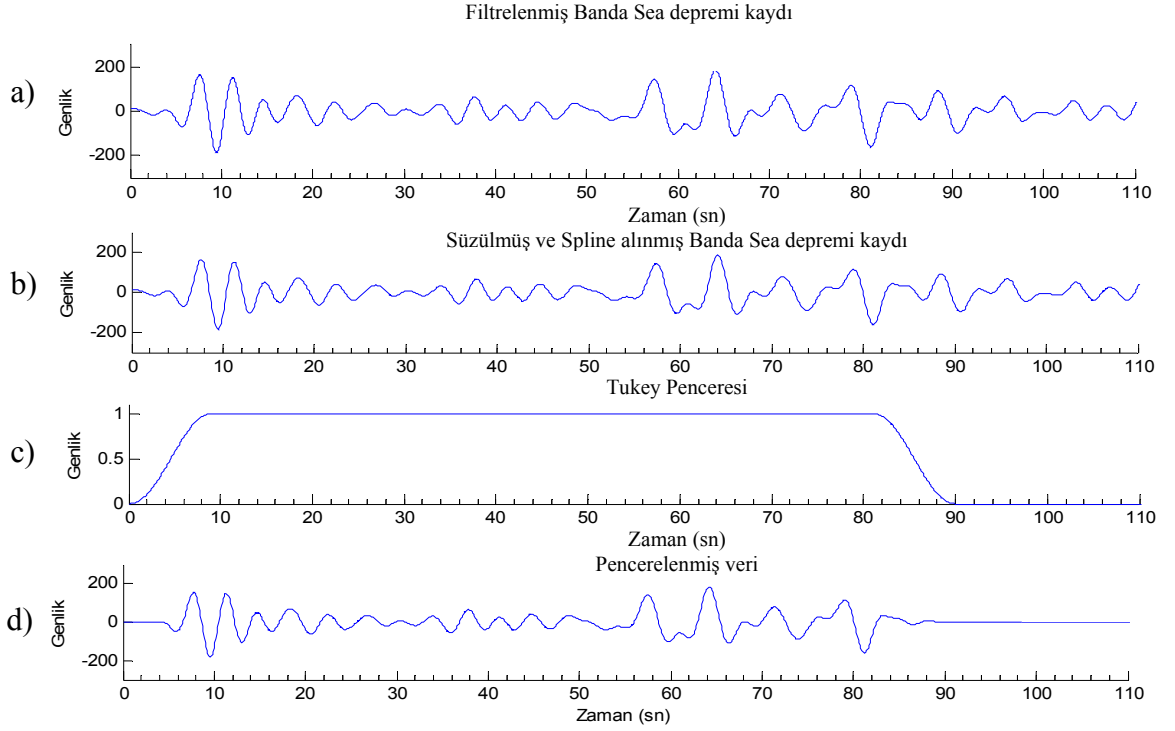
Şekil 207. Banda Sea depremi K.T.Ü. “TBZ” istasyonu kaydı a) Uzun süreli (tüm kayıt), b) Kısa süreli düşey bileşen kaydı (ilk 1500 sn’lik kısmı)



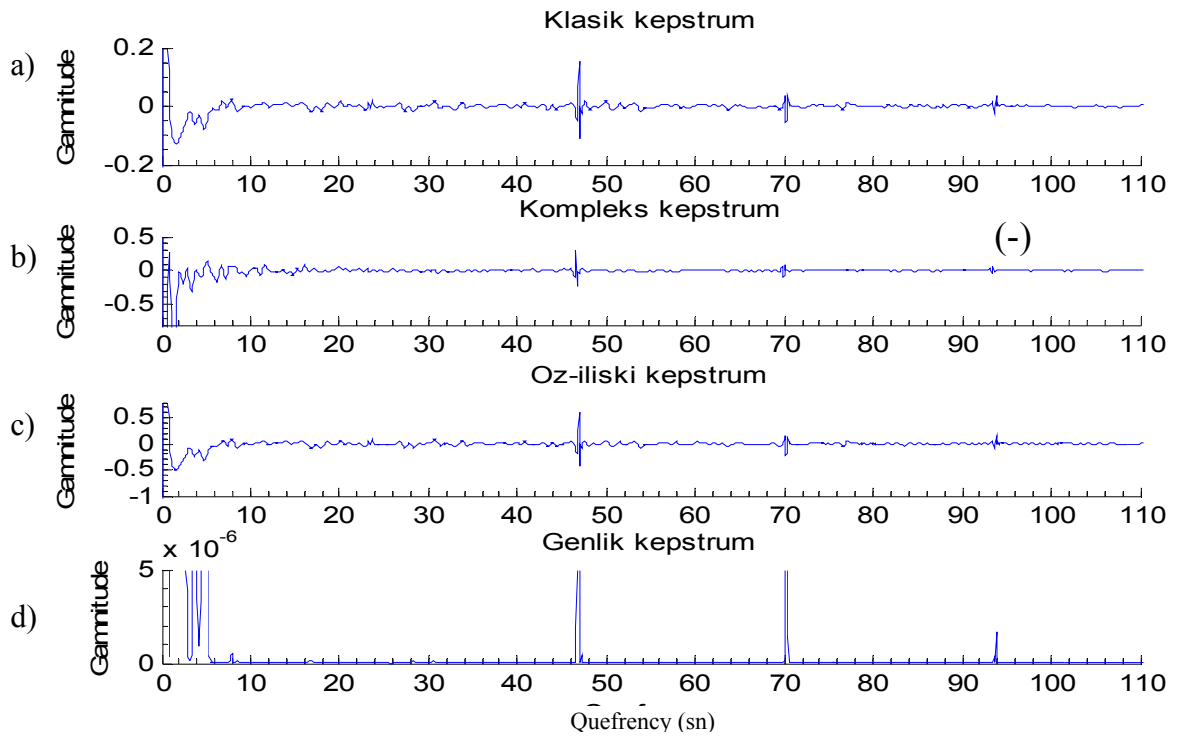
Şekil 208. Banda Sea depremine ait, a) Orjinal kayıt, b) Spline interpolasyonu yapılmış kayıt (kayıt üzerinde IASP91'e göre olması gereken fazlar işaretlenmiştir)



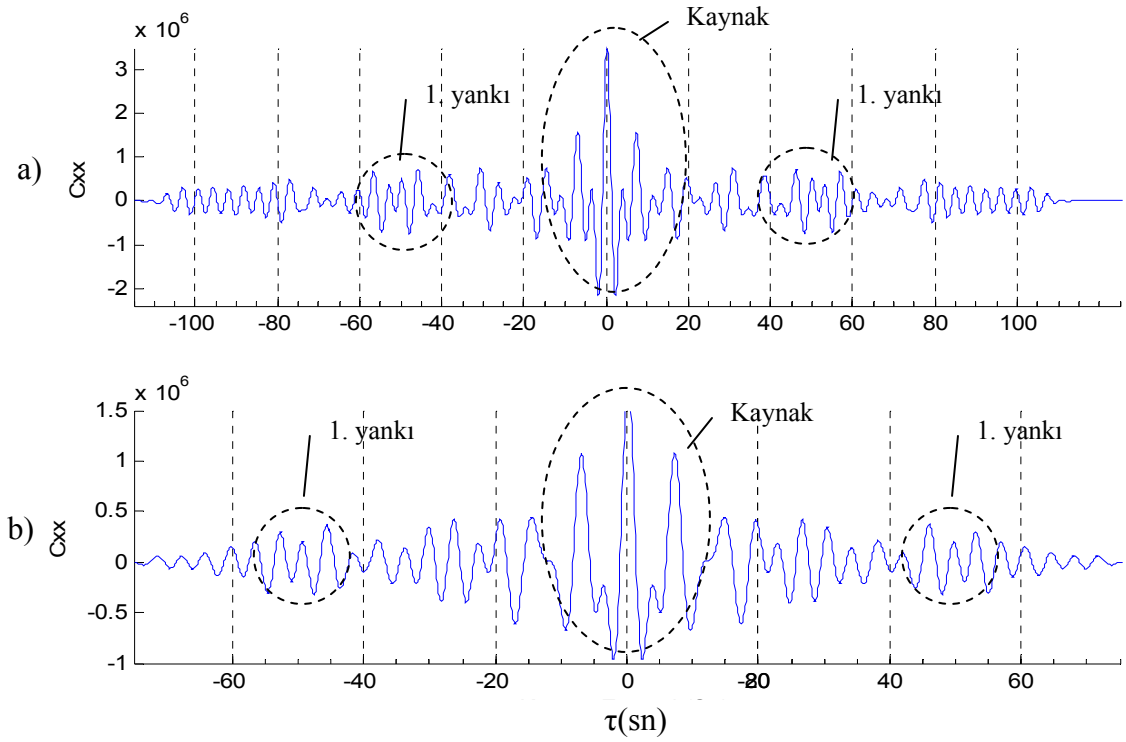
Şekil 209. Banda Sea depremine ait a) 208 a'daki şekle ait genlik spektrumu, b)Uygulanan alçak geçişli Butterworth filtresi, c) Uygulanan yüksek geçişli Butterworth filtresi, d) Filtreleme sonrası genlik spektrumu



Şekil 210. Banda Sea depremine ait P fazları kaydının a) Filtrelendikten sonraki durumu b) Spline interpolasyonu uygulanmış hali, c) Tukey penceresi, d) Pencerelemiş ve süzölmüş Banda Sea depremi kaydı



Şekil 211. Şekil 210 d'deki kayıt için, a) Klasik kepstrum, b) Kompleks (negatif quefrency) kepstrum, c) Öz-ilişki kepstrumu d) Klasik kepstrumun mutlak değeri



Şekil 212. Banda Sea depremine ait a) Pencerenlenmemiş veri için öz-ilişki fonksiyonu, b) Pencerenlenmiş veri için öz-ilişki fonksiyonu

İncelenecek olan ikinci deprem kaydı Afganistan'ın kuzeyinde Hindukuş bölgesinde olup 10.09.2004 tarihli depremin K.T.Ü. "TBZ" kayıt istasyonu uzun periyot düşey bileşen kaydıdır. Bu depreme ait parametreler; 10.08.2004, $36^{\circ}.39K$, $70^{\circ}.83D$, $d = 206.9$ km, $M_w = 5.5$ Hindukush depremi olup kayıt istasyonuna $\Delta = 24^{\circ}.54$ uzaklıktadır. Şekil 215'de depremin oluş yeri ve depremin, KTÜ. "TBZ" kayıt istasyon ile olan episantr mesafesi gösterilmektedir. Deprem episantr uzaklığı bakımından telesismik, derinlik olarak ise derin deprem sınıfına girmektedir. Telesismik deprem sınıfına girmesine rağmen episantr uzaklığı bu sınıflamanın alt sınırını teşkil etmesi bakımından çok uzak bir deprem kaydı olmadığı açıktır. Şekil 216 a'da bu depreme ait K.T.Ü. "TBZ" istasyonu uzun periyod düşey bileşen kaydı görülmektedir. Şekil 216 b'de ise bu toplam 20 dakikalık kayıt süresinin 5 dakikalık kısmı gösterilmiştir. Deprem yine 20 sn örnekleme ile alınmış olup gösterilen kayıt düşey bileşen kaydıdır. Yine IASP'91'e göre "TBZ" istasyonunda kayıt edilmesi gereken deprem fazları sırasıyla P, pP, PnPn ve Sp fazlarıdır. Dalga fazları arasındaki zaman farkı zaman uzaklık tablosu (IASP'91) sonucuna göre;

$$P-pP = 39.76 \text{ sn}$$

$$P-PnPn = 45.96 \text{ sn}$$

$$P-sP = 62.51 \text{ sn}$$

dir (Şekil 215 a).

İncelenecek deprem kaydı üzerinde daha önce incelenen Banda Sea depreminde yapılan veri-işlem uygulamaları yapılmıştır. Bu veri-işlem sonucunda deprem sinyali düzgünleştirilmiş ve kepstrum alınması için uygun hale getirilmiştir Şekil 215 b'deki spline uygulanmış verinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu çizdirilmiştir (Şekil 216 a).

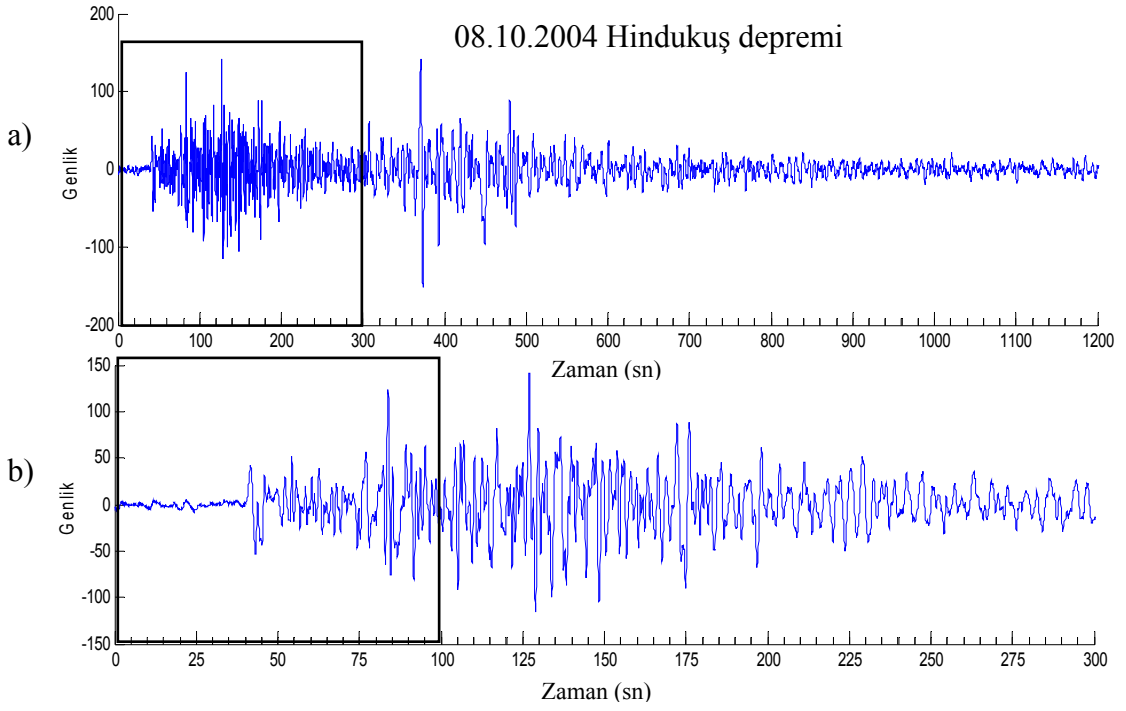
Hesaplanan kepstrum spektrumu üzerinde geniş frekans bandında yüksek genlikler bulunmaktadır. Yapılan yapay veriler üzerinde çalışmalarda farklı frekanslı bileşenlerin kepstrum üzerinde olumsuz etkileri olduğu görülmüştü. Çıkan genlik spektrumu enerji dağılımlardan kepstrum için iyi sonuçlar vermeyeceği açıktır. Yine de kepstrum hesaplamasına geçilmeden önce edinilen deneyimlere göre genlik spektrumu üzerinde hakim frekans bandı seçilerek diğer frekanslardaki genliklerin enerjiler sıfırlanmıştır. Bunun için band geçişli bir Butterworth filtresi uygulanmıştır (Şekil 216 b, c). Süzülmüş genlik spektrumu Şekil 216 d'de görülmektedir. Frekans ortamında belirgin bir bandında genliklerin olmaması sinyalin değişik frekanslarda bilgiden oluştuğunu gösterir (Şekil 216 a). Frekans ortamında bir frekans bandı seçilerek diğer enerjiler sıfırlanmaktadır.

Frekans ortamında veri filtrelendikten sonra ters Fourier dönüşümü alınarak tekrar zaman ortamına aktarılmıştır (Şekil 217 a). Bu şekilde yüksek frekanslı düşük enerjili olayların etkisi biraz da olsa giderilmiştir. Zaman ortamına döndürülen sinyale tekrar bir spline interpolasyonu uygulanmıştır (Şekil 217 b). Daha sonra Banda Sea depreminde yapıldığı gibi ilgilenilen faz bileşenlerini kapsayacak şekilde Tukey penceresiyle pencerelenmiş ve kepstrum için hazır hale getirilmiştir (Şekil 217 c, d). Kepstrum sonuçları Şekil 218'de gösterilmektedir. Normalde fazlar için beklenen gecikme zamanları (IASP'91) yukarıda verilmektedir. Kepstrum ortamındaki piklerin verdiği değerlere göre P-PnPn, ve P-sP fazları arasındaki gecikmeler sırasıyla 45.96 sn ve 62.51 sn olarak bulunmaktadır. Fakat 39.76 sn'de beklenen P-pP fazı kepstrum ortamında bir belirti vermemektedir. Bunun ana nedeni frekans ortamındaki homojene yakın enerji dağılımlarından ileri gelmektedir. Özellikle kepstrum farklı frekans içerikli sinyallerde güzel sonuçlar vermemektedir. Diğer bir sorun gecikme zamanı değeridir. pP fazı ile PnPn

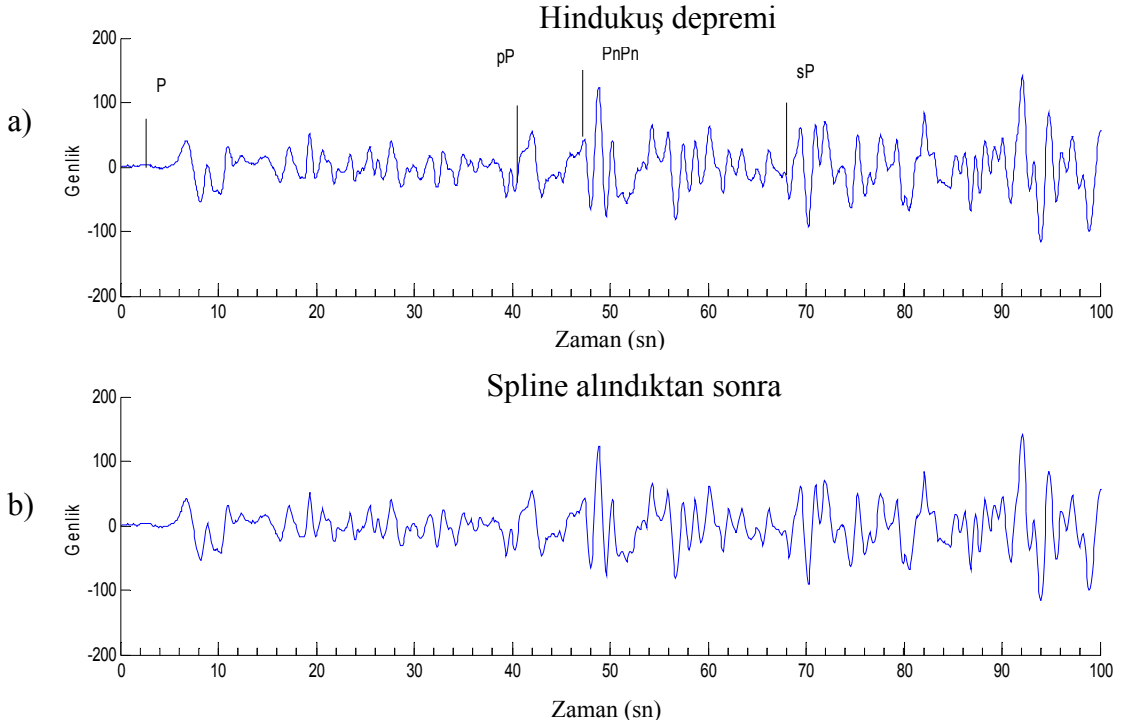
fazı arasındaki olması gereken zaman farkı çok küçük olduğu için tam bir ayırma gidilememiştir. Diğer iki faz için gecikme farkı daha belirgindir. Zaten kepstrum ortamındaki piklerin keskin olmayışı ve distorsiyona uğramaları sinyalin faz yapısının karmaşıklığından ileri gelmektedir. Karmaşık fazlı bir yapının oluşunu kompleks kepstrumun negatif frekanslarda belirgin pik değerleri göstermesi de kanıtlamaktadır. Şekil 219’da öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından yine bir kesinlik olmamasına rağmen kepstrum sonuçlarıyla yaklaşık aynı gecikme zamanı değerleri bulunmaktadır (Şekil 219). Faz bileşeni olarak 46 sn’deki P-PnPn fazları arasında 245° - 270° bir faz farkından bahsedilebilir. 61 sn’deki P-sP fazları arasında ise 45° - 90° bir faz farkı bulunmaktadır. Bu yorum yapay sinyaller üzerinden edinilen bilgilere dayanarak söylenebilir.



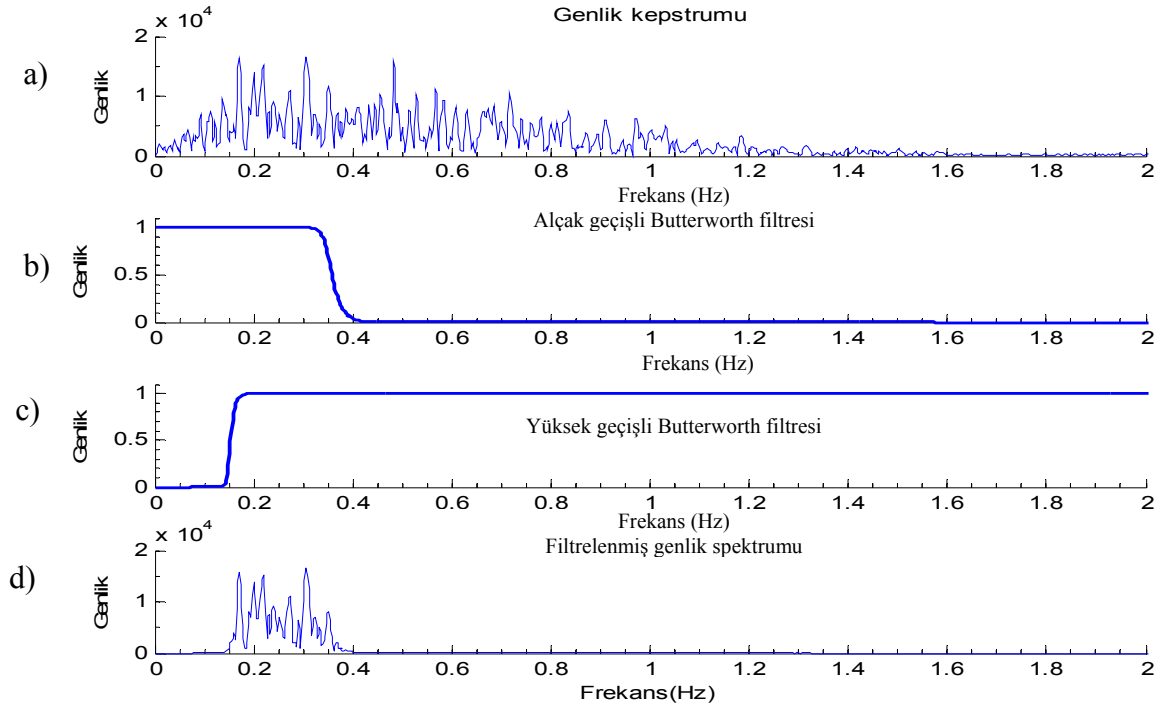
Şekil 213. Hindukuş depremi ile K.T.Ü. “TBZ” kayıt istasyonu arasındaki episantr mesafesi ($\Delta=24^{\circ}.54$) [42]



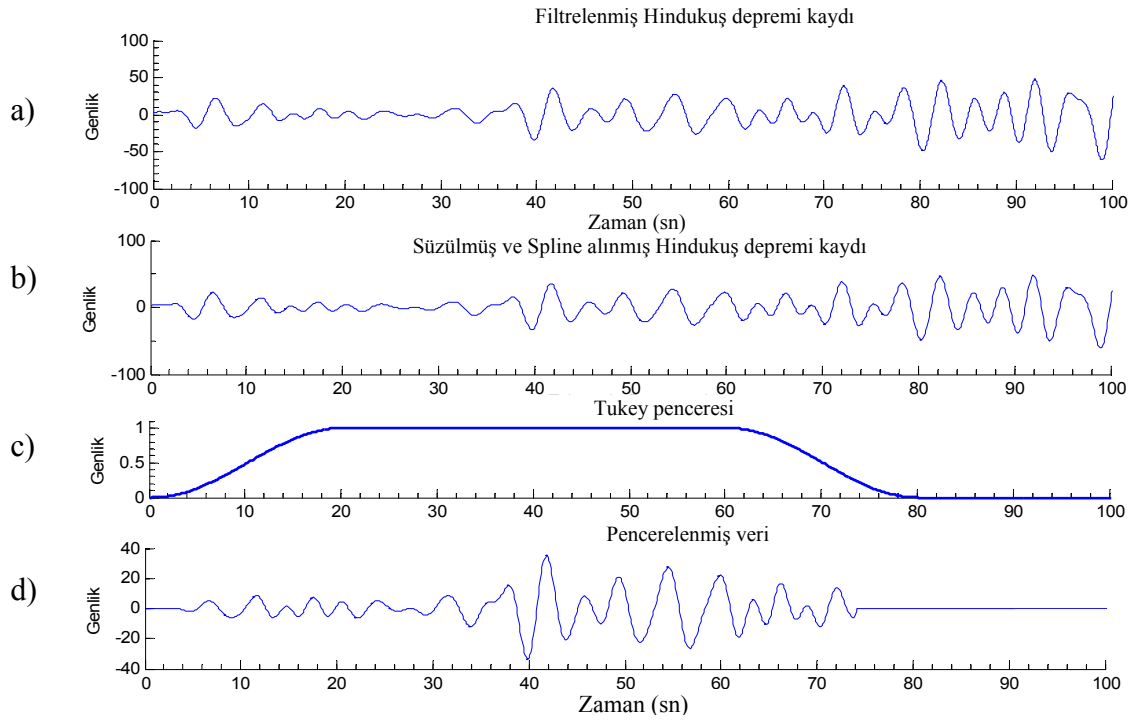
Şekil 214. Hindukuş depremi K.T.Ü. “TBZ” istasyonu a) Uzun süreli, b) Kısa süreli düşey bileşen kaydı



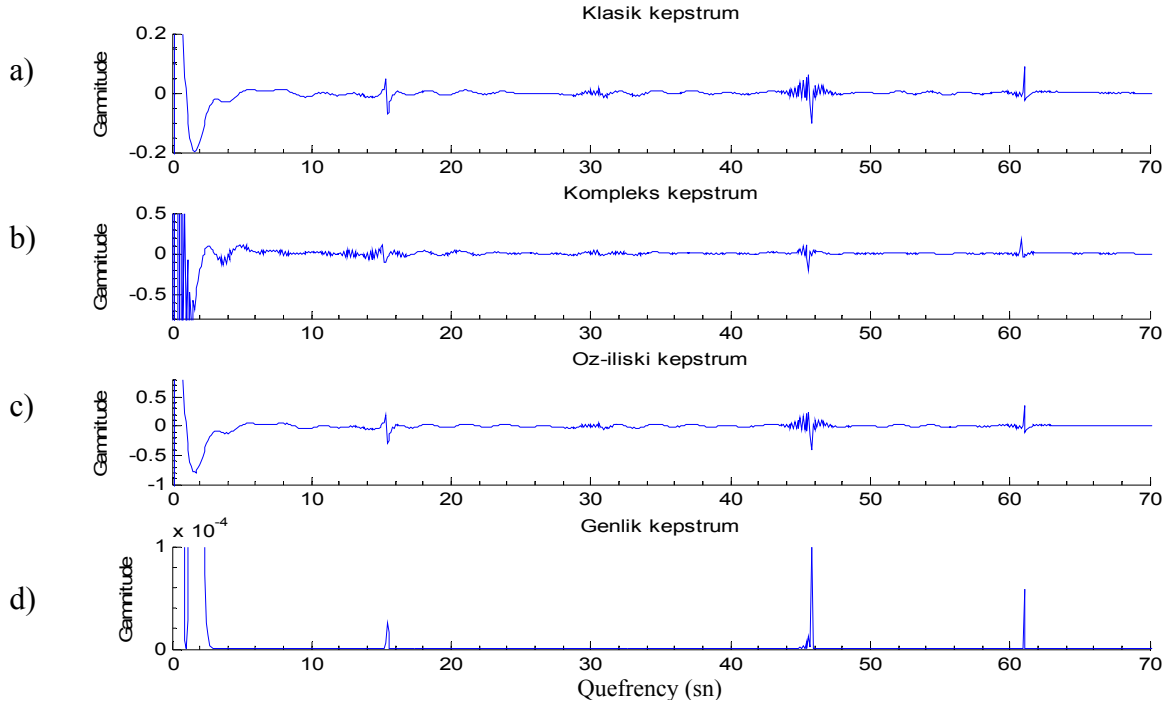
Şekil 215. Hindukuş depremine ait, a) P dalgası fazlarını içeren orijinal kayıt, b) Spline interpolasyonu alınmış P dalgası fazlarını içeren kayıt



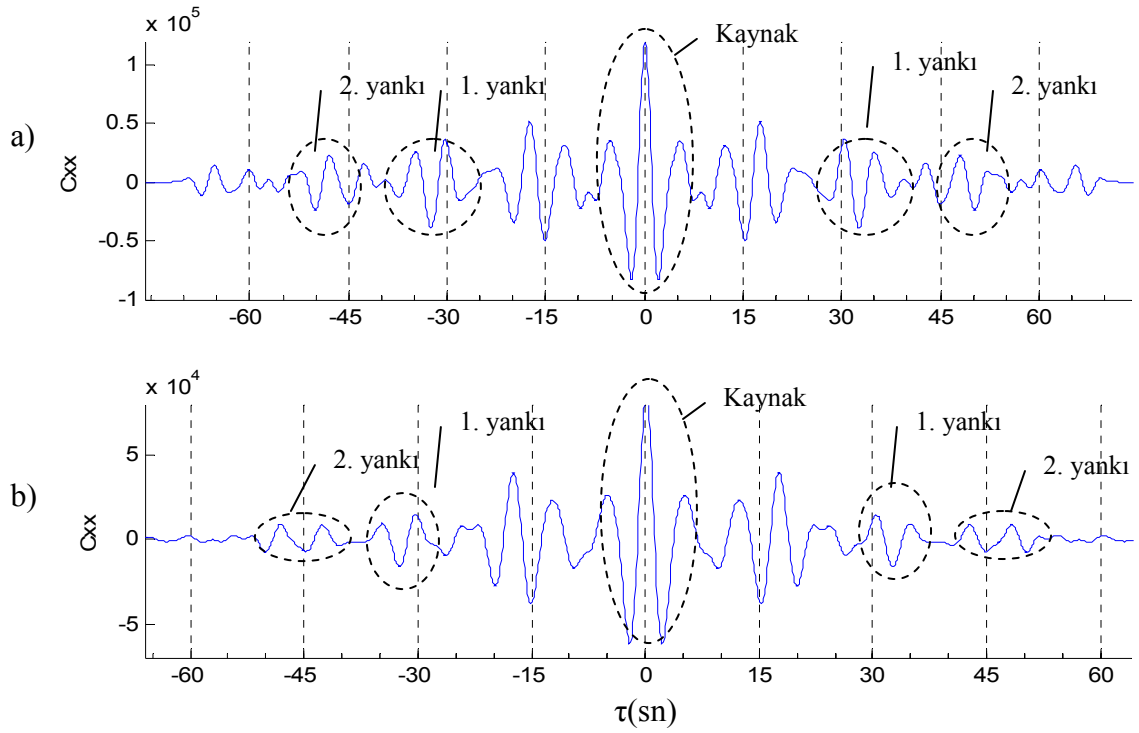
Şekil 216. Hindukuş depremine ait a) Genlik spektrumu, b) Alçak Geçişli Butterworth filtresi, c) Yüksek Geçişli Butterworth filtresi, d) Filtreleme sonrası genlik spektrumu



Şekil 217. Hindukuş depremine ait P fazlarının a) Filtrelenmiş veri, b) Spline interpolasyonu uygulanan kayıt, c) Uygulanan Tukey penceresi, d) Pencerelemiş Hindukuş depremi kaydı



Şekil 218. Hindukuş depreminin P dalga fazlarına ait a) Klasik, b) Kompleks (negatif quefrequency), c) Öz-ilişki kepstrumu, d) Klasik kepstrumun mutlak değeri



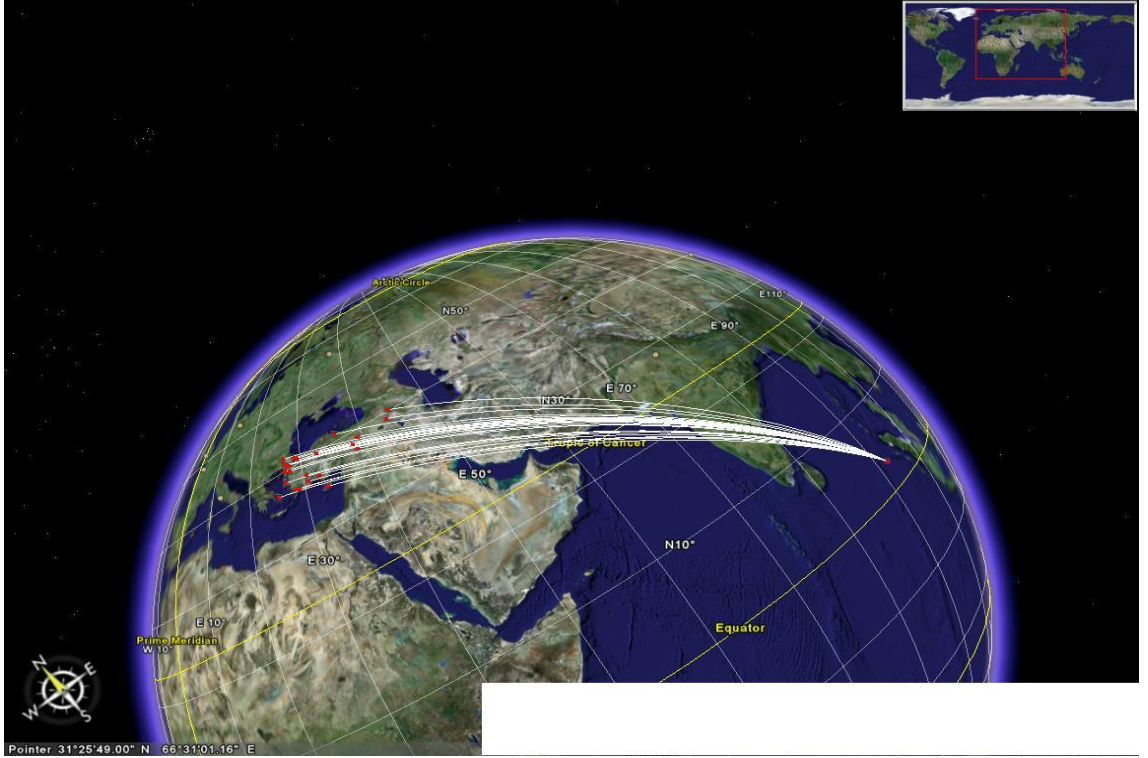
Şekil 219. Hindukuş depremine ait a) Pencerenlenmemiş veri için öz-ilişki fonksiyonu, b) Pencerenlenmiş veri için öz-ilişki fonksiyonu

3.1. Kepstral F-istatistik Uygulaması

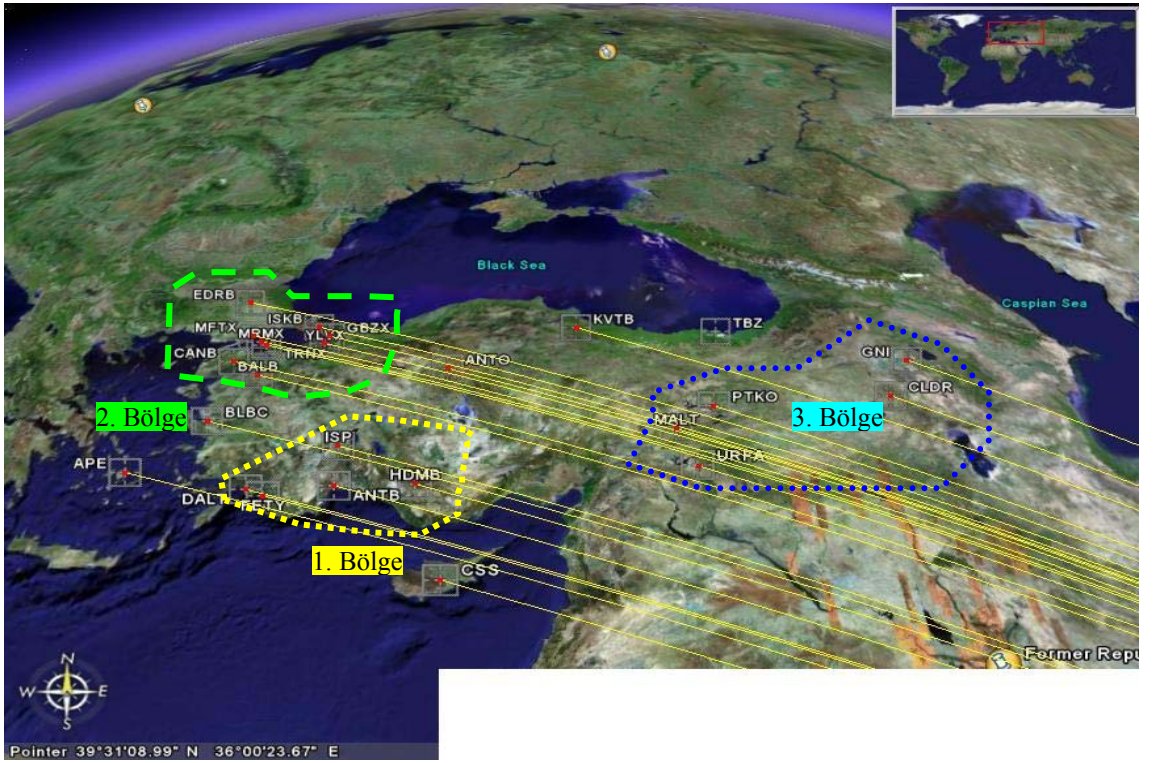
Yapılmış olan son çalışma bir kepsral F-istatistik uygulaması içindir. Bilindiği gibi kepsral F-istatistik çalışmasının yapılabilmesi için uygun bir depremin yerel ağ istasyonları tarafından kayıt edilmesi gerekmektedir. Bunun için Endonezya'nın kuzey batısında 24.12.2004 tarihli Sumatra depreminin “Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü”ne ait Türkiye'deki 23 istasyondaki kayıtları ile Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde de 1 adet istasyon şebekesinin kaydı kullanılmıştır. Bu depreme ait parametreler; 24.12.2004, $3^{\circ}.298K$, $95^{\circ}.779D$, $d = 28$ km, $M = 9.0$ Sumatra depremi olup ortalama istasyon ağına $\Delta = 60^{\circ}$ uzaklıktadır. Bu istasyonlar üç bileşen geniş bantlı olup uygulamada sadece düşey bileşen kayıtları kullanılmıştır. Sumatra depreminin episantr noktası ve kayıt istasyonlarına varış mesafeleri Şekil 220'de gösterilmiştir. Şekil 221'de ise 24 tane istasyonun konumsal dağılımları görülmektedir. İstasyonların konumsal farklılıkları bölgesel boyutta olduğu için Kepstral F-istatistik uygulamasında, sonuçların daha tutarlı olabilmesi için üç bölge halinde ayrı ayrı incelemeleri yapılmıştır. Bu üç bölge kendi arlarındaki mesafelere bağlı olarak yerel bir ağ oluşturacak şekilde ayrılmıştır. İstasyonlardaki kayıtlar değerlendirilirken istasyon harf sıralarına göre uygulamalar yapılmıştır.

Şekil 222 a'da “ANTB” istasyon kaydının toplam deprem süresi boyunca tüm dalga fazlarını kapsayan kaydı gösterilmiştir. Şekil 222 b'de ise bu toplam kayıt süresinin sadece ilgilen deprem fazlarını kapsayan kısmı gösterilmektedir. Üzerinde hiçbir iyileştirme yapılmamış olan kayıt kepsral F-istatistik için geçerli sonuçlar üretmeyecektir. Bunun için bir önceki kısımda yapılmış veri-işlemlere benzer işlemler yapılarak deprem verisi analizler için düzgün hale getirilmiştir. Sırasıyla bu veri-işlem sonuçları şekillerle gösterilmiştir. Şekil 223 a'da Şekil 222 b'deki kesilmiş olan veri üzerinde spline interpolasyonu uygulaması gösterilmiştir. Şekil 223 b'de ise filtrelenmiş veri tekrar zaman ortamında gösterilmiştir. Şekil 224'de bu filtreleme işleminin nasıl yapıldığı sırasıyla gösterilmiştir. İlk olarak Şekil 223 b'deki verinin Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumu çizdirilmiştir (Şekil 224 a). Genlik spektrumundaki enerji dağılımlarına bakılarak yüksek enerji seviyeli frekans bandı kalacak şekilde diğer düşük enerjili frekanslar atılması için uygun band geçişli Butterworth filtresi uygulanmıştır (Şekil 224 b, c). Filtrelenmiş genliklere ait genlik spektrumu Şekil 224 d'de gösterilmektedir. Bu şekile göre yüksek enerji içerikli frekanslar alınarak diğer frekanslar süzölmüştür. Filtrelenmiş

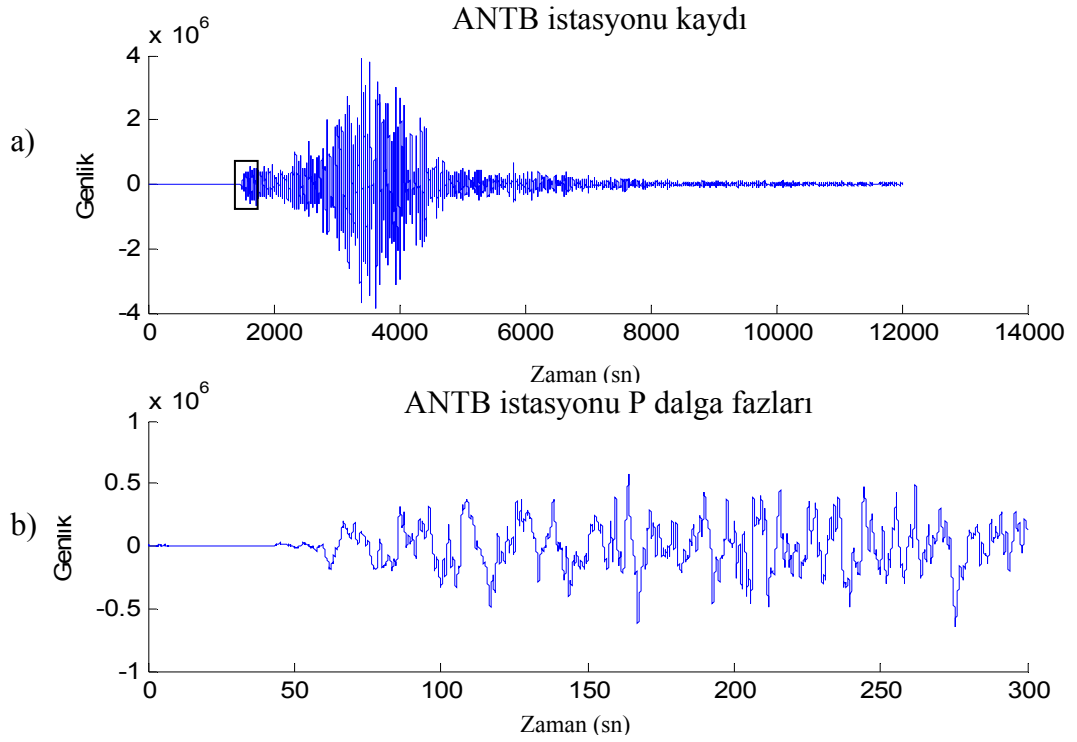
deprem kaydının ters Fourier dönüşümü alınarak tekrar zaman ortamında gösterilerek, zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre beklenen dalga fazlarına ait geliş zamanlarına göre uygun pencere boyu belirlenmiştir (Şekil 224 e). Bu dalga geliş zamanlarına göre üç farklı (kısa, orta, uzun) uzunlukta Tukey penceresi ile veri pencerelenmiştir. Yapılmış olan çalışmalarda sadece uzun pencere boyu için şekiller gösterilmiştir. Şekil olarak burada gösterilmeyen farklı uzunlukta 2 pencere daha kullanılmıştır. Üç farklı pencere boyu seçilmesinin sebebi, dalga fazlarının daha belirgin bir şekilde ayrılabilmesi içindir. Şekil 224 f'de Tukey penceresinin bu kayıt için en uzun olarak isimlendirilen penceresi gösterilmektedir. Şekil 224 g'de ise pencereleme sonucu kalan dalga fazlarına ait veri gösterilmektedir. Zaman-uzaklı tablosuna (IASP91) göre ilk P dalgasından sonra gelmesi gereken dalga fazları sırasıyla pP, sP, PcP, PP olarak sıralanmaktadır. Bu dalga fazları arasındaki zaman farkları çok küçük olduğu için değişik pencereleme boyutları kullanılarak en uygun çözümler aranmıştır. Aşağıda harf sıralarına göre sıralanan deprem kayıtları için en uzun Tukey penceresi için çözümler gösterilmiştir. Diğer iki pencere boyu için sadece çıkan sonuçlar kısmı gösterilecektir. Yapılan F-istatistik uygulamasında üç farklı bölge ve üç farklı pencere uzunluğu için ayrı ayrı çözümler yapılmıştır.



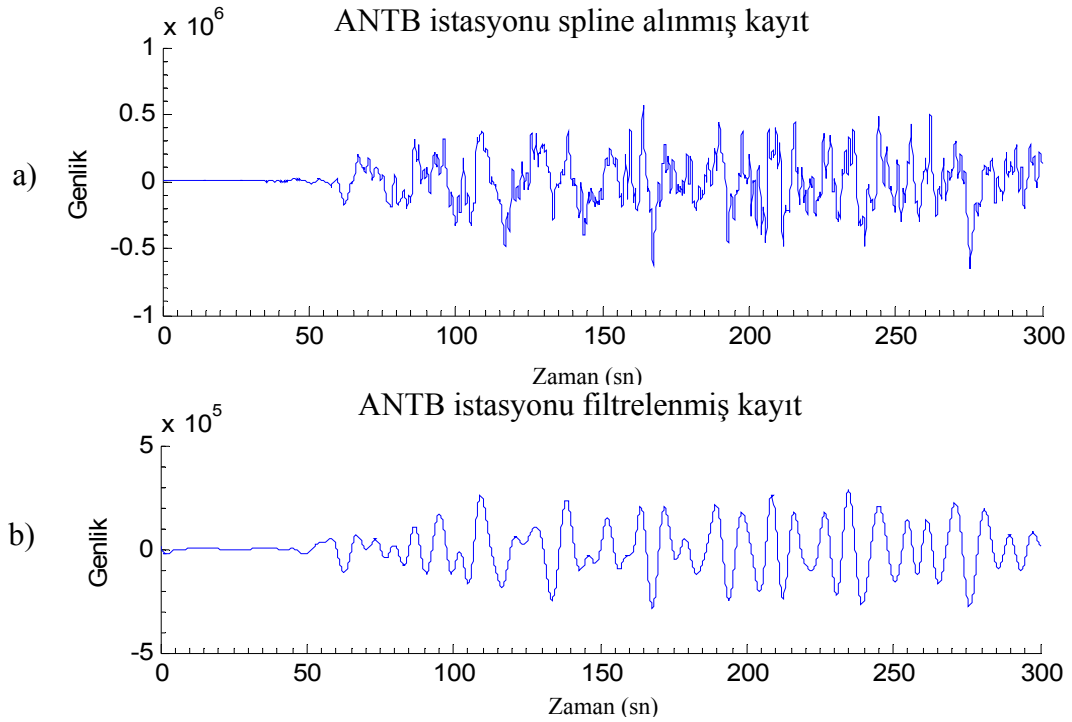
Şekil 220. 24 Aralık 2004 Sumatra Depremi ve Türkiye’de kayıt edilmiş istasyonlara olan episantr uzaklıkları [42]



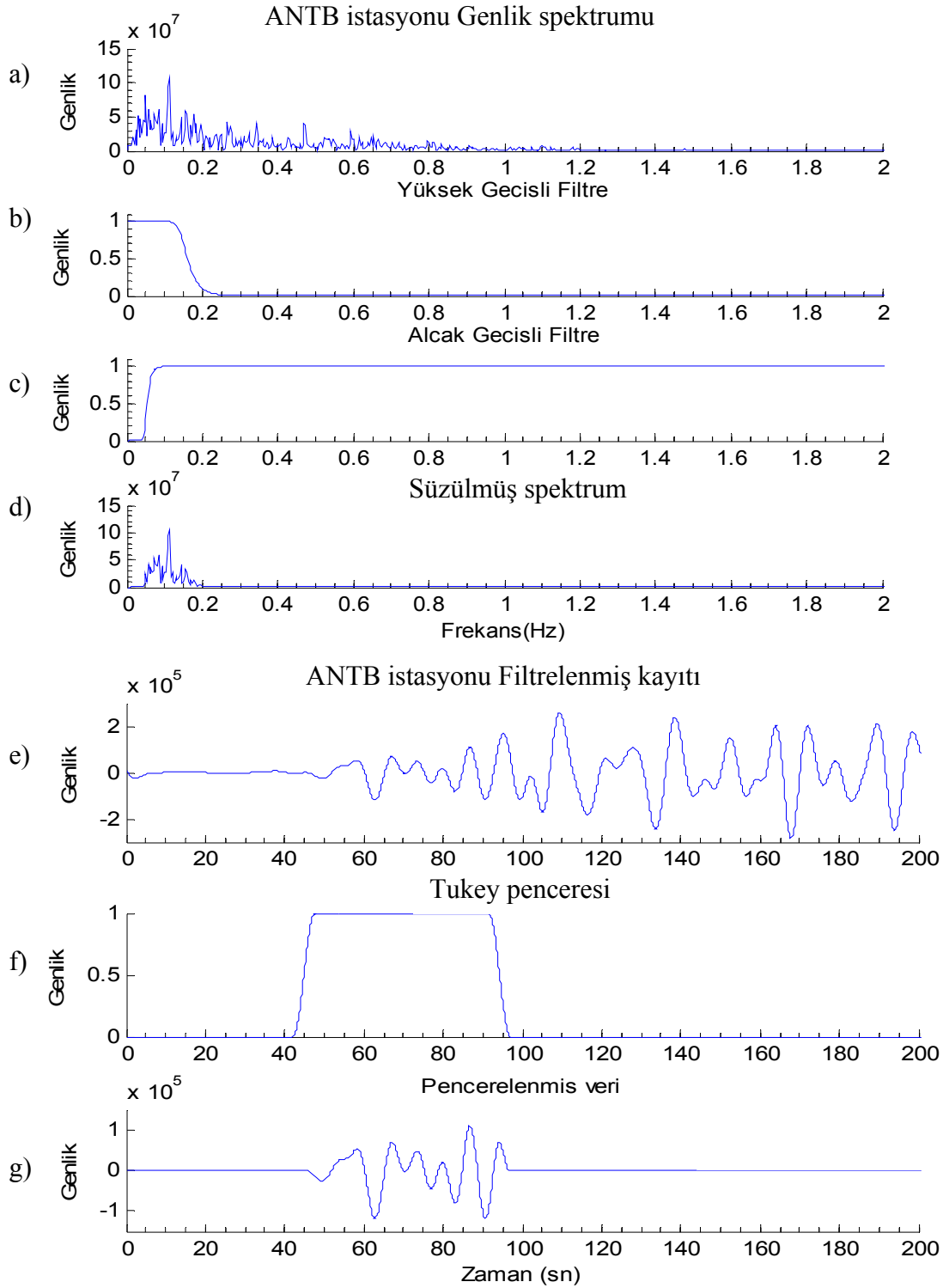
Şekil 221. Kayıt istasyonlarının bölgesel olarak dağılımı haritası [42]



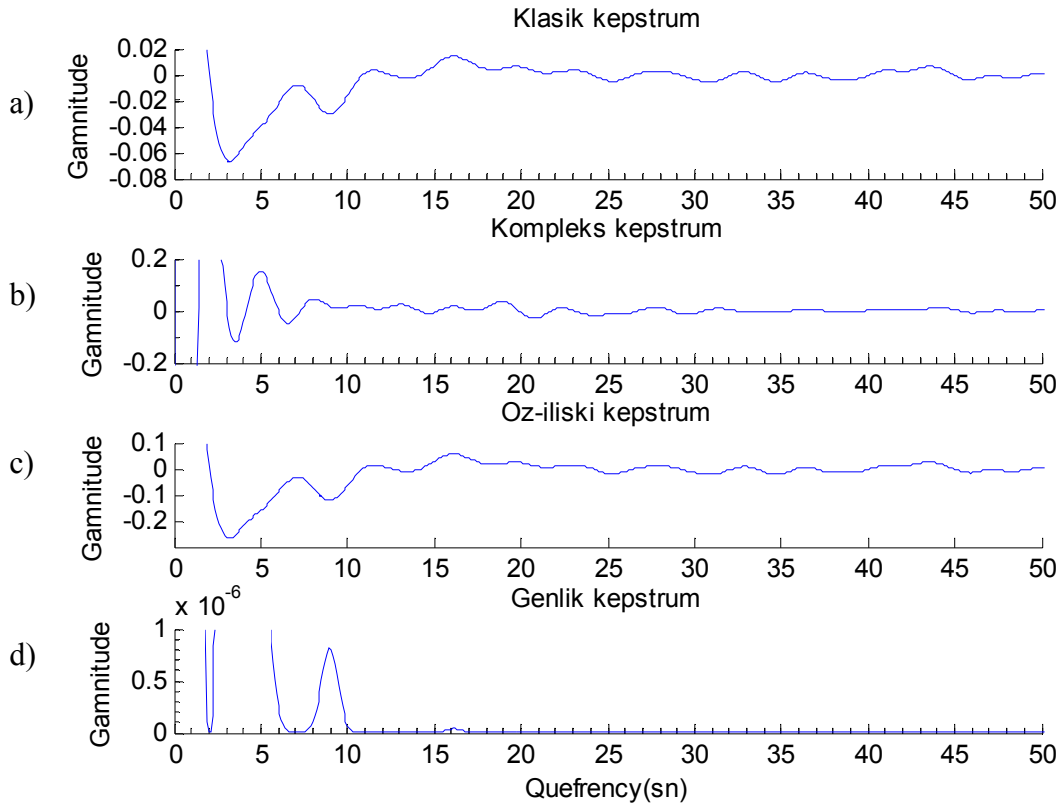
Şekil 222. 24 Aralık 2004 Sumatra Depreminin “ANTB” istasyonu tarafından kayıt edilmiş, a) Tüm dalga fazlarını içeren kayıt, b) Sadece aranan dalga fazlarını içeren kayıt



Şekil 223. “ANTB” istasyonunda kayıt edilen Sumatra depreminin, a) Spline interpolasyonu uygulanmış kaydı, b) Filtrelenmiş kaydı



Şekil 224. “ANTB” İstasyonunda kayıt edilen Sumatra depremi için P fazlarını içeren kayıtları için a) Genlik spektrumu, b) Alçak geçişli Butterworth filtre uygulaması, c) Yüksek geçişli Butterworth filtre uygulaması, d) Filtrelenmiş genlik spektrumu, e) Filtrelenen verinin zaman ortamında gösterimi, f) Uygulanan Tukey penceresiyle pencereleme (uzun), g) Pencerelenmiş veri



Şekil 225. “ANTB” İstasyonunda kayıt edilen deprem verisinin Şekil 224 f’de pencerelenmesi sonucu kepstrum sonuçları

Pencere boyu en uzun Tukey için bulunan kepstrum sonuçları Şekil 225’te gösterilmiştir. Zaman-uzaklık tablosuna (IASP’91) göre sırasıyla P, pP, sP, PcP, PP dalga fazları deprem istasyonunda kayıt edilmelidir. Bu fazların P fazından farkları;

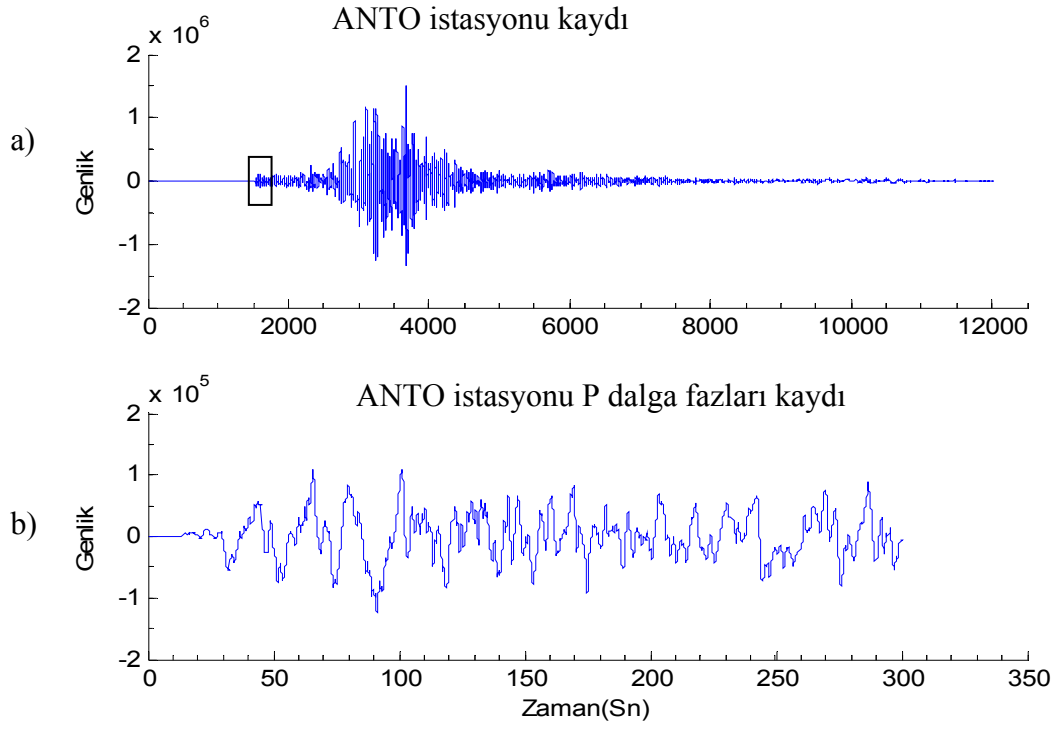
$$P-pP = 9.34 \text{ sn}$$

$$P-sP = 13.11 \text{ sn}$$

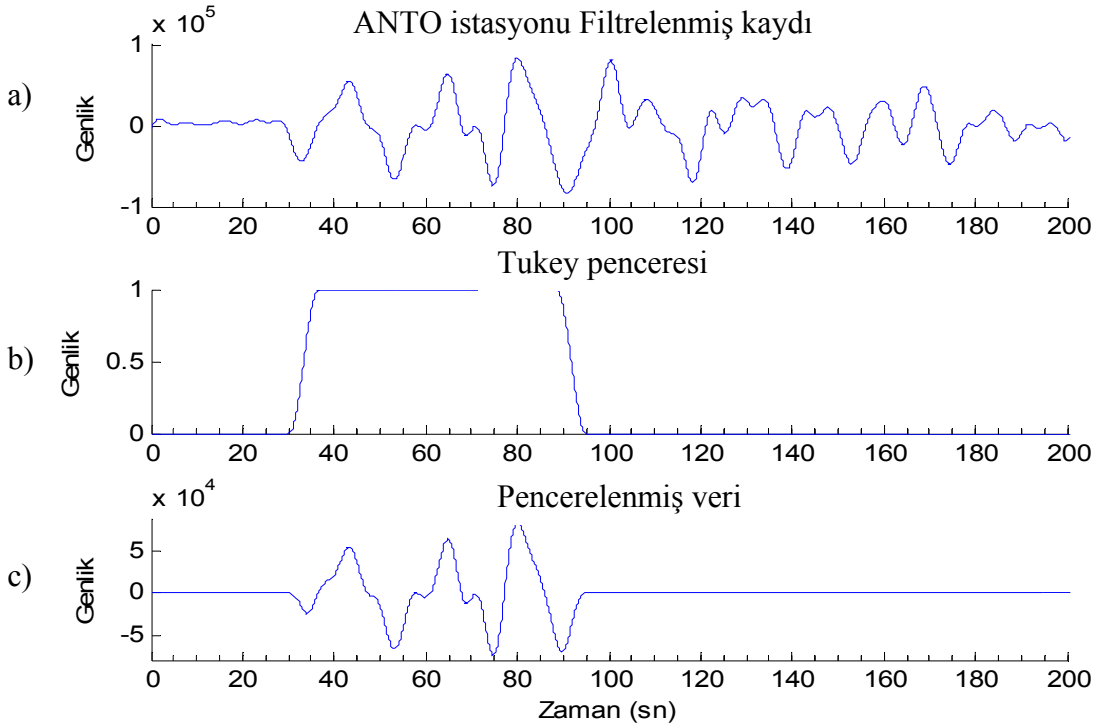
$$P-PcP = 31.05 \text{ sn}$$

$$P-PP = 144.52 \text{ sn}$$

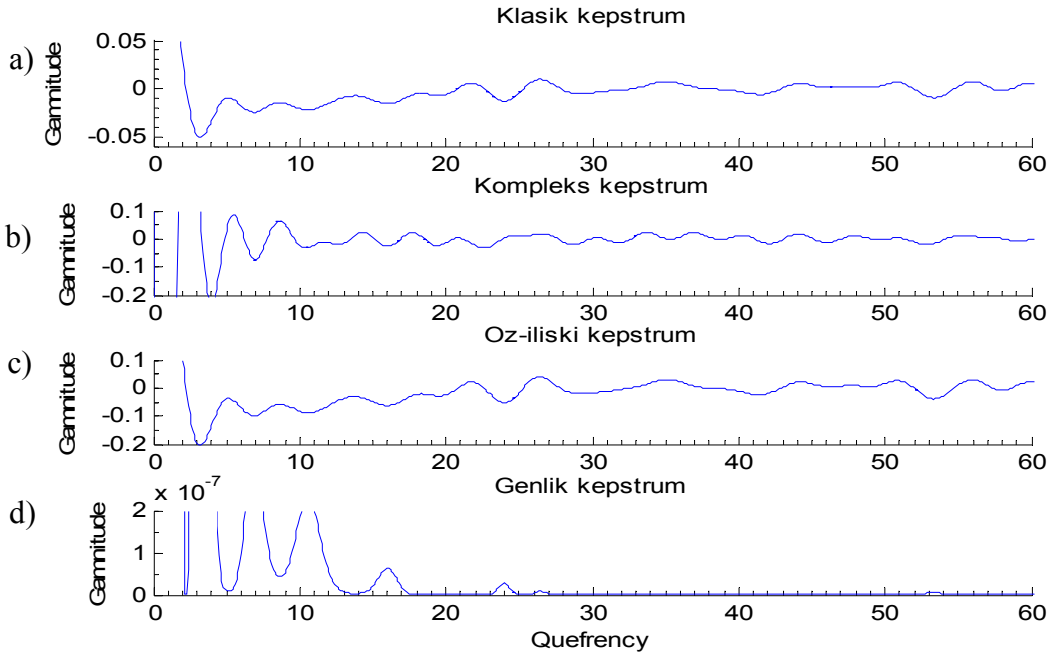
dir. Şekil 225’teki üç farklı kepstrum sonucundan 9 sn ve 16 sn de pikler görülmektedir. Bu pik değerlerinden ilki, P-pP = 9.34 sn dalga fazları arasında olması gereken zaman farkına karşılık 9 sn gecikme değeri, P-sP = 13.11 sn dalga fazları arasında olması gereken zaman farkı da 16 sn civarında bulunmuştur. Diğer fazlara ait hiçbir pik değeri (Klasik,Kompleks, Öz-ilişki kepstrumu) kepstrum için de bulunamamıştır.



Şekil 226. 24 Aralık 2004 Sumatra Depreminin “ANTO” istasyonu tarafından kayıt edilmiş, a) Tüm dalga fazlarını içeren kayıt, b) Sadece aranan dalga fazlarını içeren kayıt



Şekil 227. “ANTO” istasyonunda kayıt edilen Sumatra depreminin, a) Spline interpolasyonu uygulanmış kaydı, b) Filtrelenmiş kaydı



Şekil 228. “ANTO” İstasyonunda kayıt edilen deprem verisinin Şekil 227 c’de pencerelemesi sonucu kepstrum sonuçları

24.12.2004 Sumatra depreminin ANTO istasyonu düşey bileşen kaydı için yukarıdaki veri-işlem yöntemleri uygulanmış (Şekil 226,227) kepstrum alınacak hale getirilmiştir. Pencere boyu en uzun Tukey için bulunan kepstrum sonuçları Şekil 228’de gösterilmiştir. Zaman-uzaklık tablosuna (IASP’91) göre sırasıyla P, pP, sP, PcP, PP dalga fazları deprem istasyonunda kayıt edilmelidir. Bu fazların P fazından farkları;

$$P-pP = 9.33 \text{ sn}$$

$$P-sP = 13.1 \text{ sn}$$

$$P-PcP = 32.79 \text{ sn}$$

$$P-PP = 142.87 \text{ sn}$$

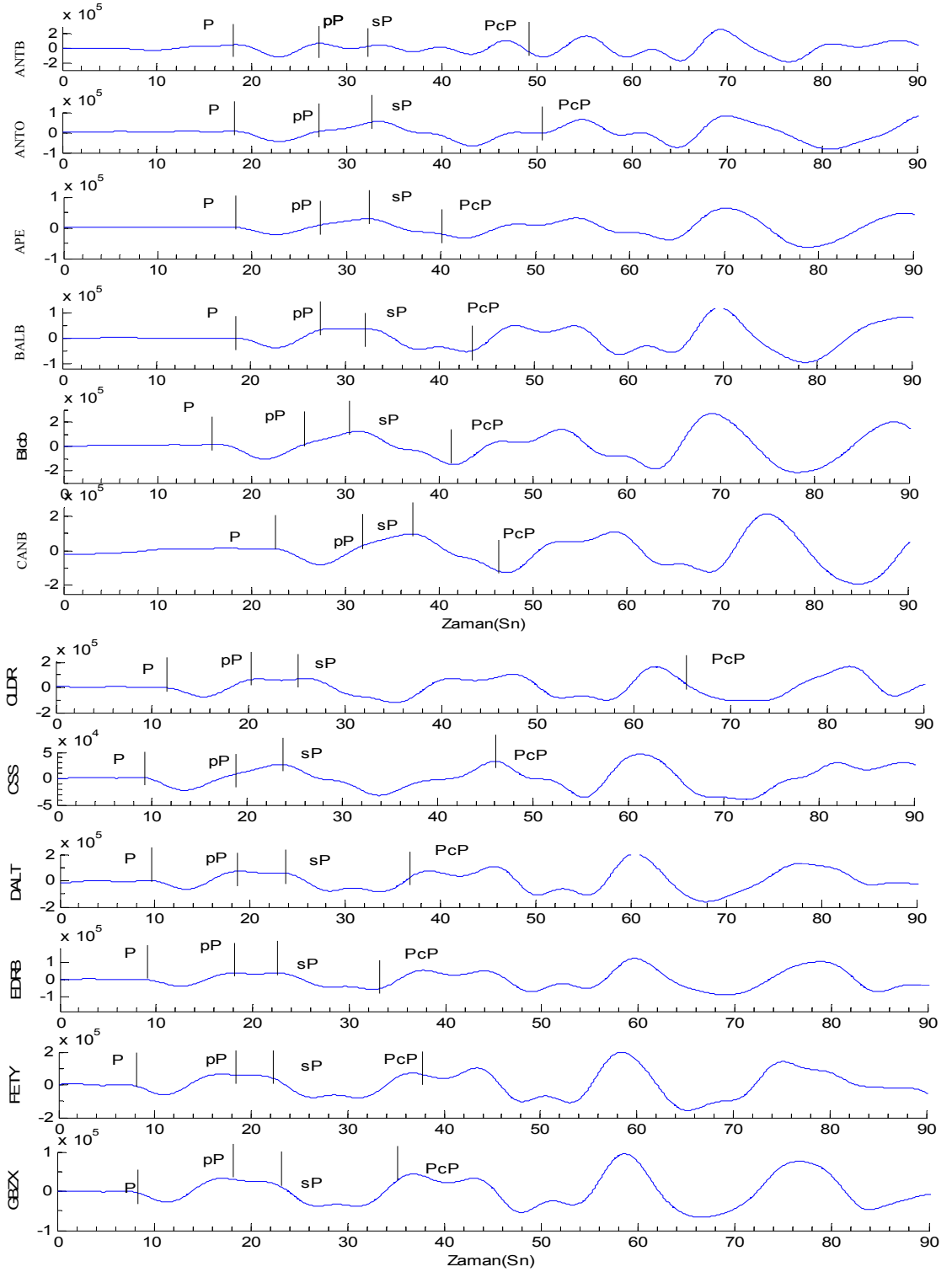
dir. Şekil 228’deki üç farklı kepstrum sonucundan 7 sn, 11 sn, 16 sn ve 24 sn’de pikler görülmektedir. Bu pik değerlerinden ilki, $P-pP = 9.34$ sn dalga fazları arasında olması gereken zaman farkına karşılık 7 sn gecikme değeri, $P-sP = 13.11$ sn dalga fazları arasında olması gereken zaman farkı da 11 sn civarında bulunmuştur. Diğer iki pik bu piklerin tekrarlanmalarından ileri geldiği yorumuna gidilmiştir. Şekil 228 d’de klasik kepstrumun mutlak değeri alınarak pikler daha belirgin hale getirilmiştir. Diğer fazlara ait hiçbir pik değeri (Klasik, Kompleks, Öz-ilişki kepstrumu) kepstrum için de bulunamamıştır. Bu veriler ileride kepstral F-istatistik uygulamasında daha belirgin bir şekilde çıkartılmıştır.

Diğer 22 deprem istasyonundaki kayıtlar içinde benzer veri-işlemler uygulanarak kepstrum analizi için hazır hale getirilmiştir. Burada tüm bu işlemlerin ayrı ayrı gösterilmesi yerine, IASP91 modeline göre fazlar arasında bulunması gereken gecikme zamanları ve kepstrum sonucunda bulunan gecikme zamanları, bir tablo yardımıyla karşılaştırmalı olarak verilecektir.

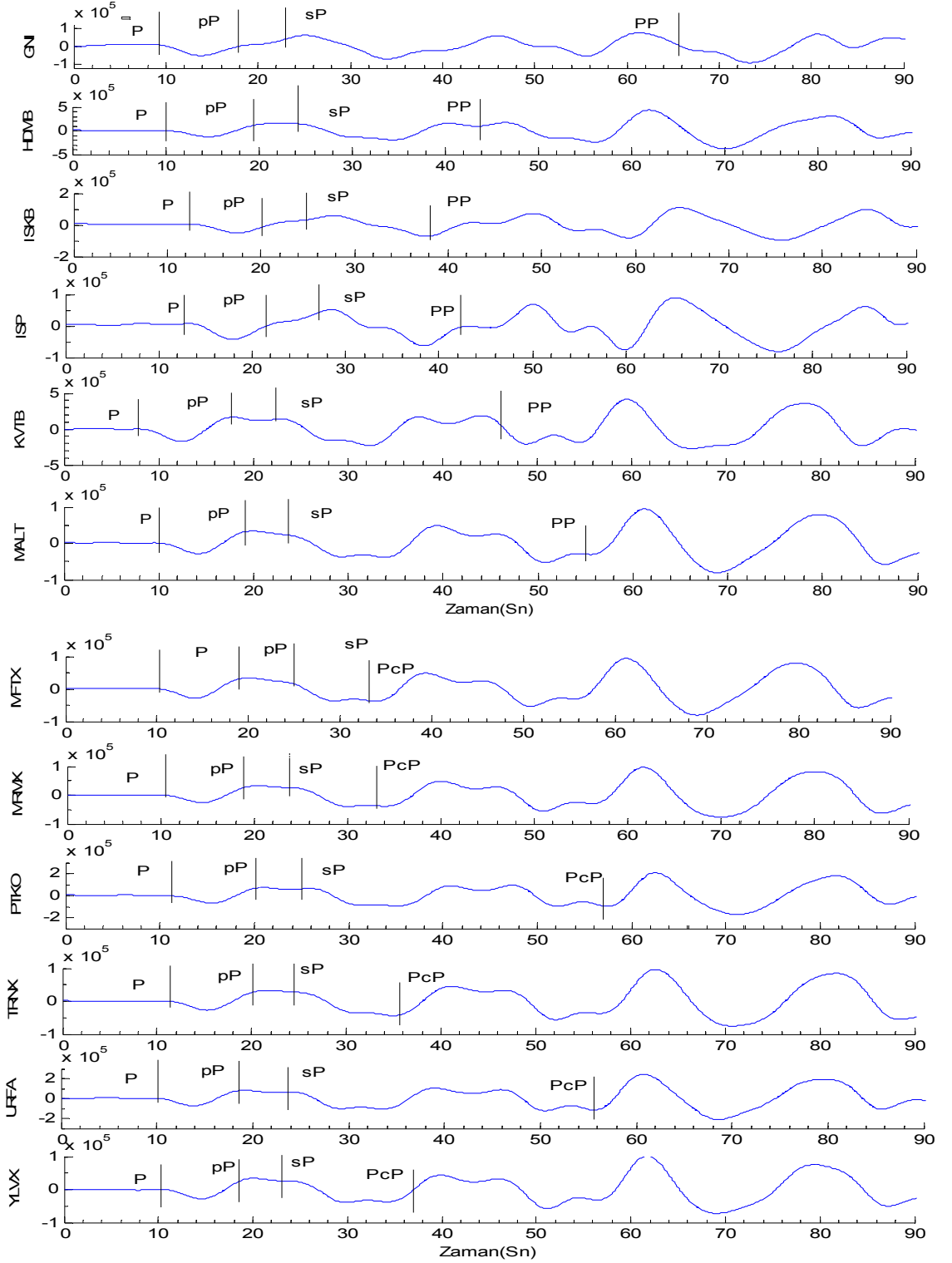
Tablo 4. 24.12.2004 Sumatra depremine ait 24 istasyonda kayıt edilmiş verilerin IASP91 modeline göre fazlar arasındaki bulunan zaman farkları ve kepstrum sonucu bulunan zaman farkları

İSTASYON	IASP'91 MODELİNE GÖRE FAZLAR ARASINDAKİ ZAMAN FARKLARI(sn)	FAZLAR ARASINDA KESTİRİLEN ZAMAN FARKLARI(sn)
ANTB ($\Delta=65^{\circ}.66$)	P-pP = 9.34 P-sP = 13.11 P-PcP = 31.05	P-pP = 9 P-sP = 16
ANTO ($\Delta=64^{\circ}.91$)	P-pP = 9.33 P-sP = 13.1 P-PcP = 32.79	P-pP = 7 P-sP = 11
APE ($\Delta=69^{\circ}.67$)	P-pP = 9.4 P-sP = 13.16 P-PcP = 22.48	P-pP = 7 P-sP = 12
BALB ($\Delta=68^{\circ}.47$)	P-pP = 9.38 P-sP = 13.14 P-PcP = 24.89	P-pP = 9.5
BLCB ($\Delta=68^{\circ}.80$)	P-pP = 9.39 P-sP = 13.15 P-PcP = 24.22	P-pP = 7 P-sP = 11
CANB ($\Delta=69^{\circ}.17$)	P-pP = 9.39 P-sP = 13.15 P-PcP = 23.47	P-pP = 9.5
CLDR ($\Delta=56^{\circ}.71$)	P-pP = 9.2 P-sP = 13.0 P-PcP = 55.64	P-pP = 10
CSS ($\Delta=63^{\circ}.04$)	P-pP = 9.3 P-sP = 13.08 P-PcP = 37.42	P-pP = 9.5 P-sP = 13
DALT ($\Delta=67^{\circ}.19$)	P-pP = 9.36 P-sP = 13.18 P-PcP = 27.26	P-pP = 7 P-sP = 15.5 P-PcP = 27
EDRB ($\Delta=69^{\circ}.86$)	P-pP = 9.4 P-sP = 13.16 P-PcP = 22.13	P-pP = 7.5 P-sP = 12
FETY ($\Delta=66^{\circ}.81$)	P-pP = 9.36 P-sP = 13.13 P-PcP = 28.44	P-pP = 9
GBZX ($\Delta=67^{\circ}.62$)	P-pP = 9.37 P-sP = 13.13 P-PcP = 26.67	P-pP = 10

İSTASYON	IASP'91 MODELİNE GÖRE FAZLAR ARASINDAKİ ZAMAN FARKLARI(sn)	FAZLAR ARASINDA KESTİRİLEN ZAMAN FARKLARI(sn)
GNI ($\Delta=56^{\circ}.61$)	P-pP = 9.19 P-sP = 12.99 P-PcP = 55.95	P-pP = 9 P-sP = 14
HDMB ($\Delta=64^{\circ}.27$)	P-pP = 9.31 P-sP = 13.09 P-PcP = 34.34	P-pP = 7
ISKB ($\Delta=67^{\circ}.98$)	P-pP = 9.37 P-sP = 13.13 P-PcP = 25.91	P-pP = 9
ISP ($\Delta=66^{\circ}.01$)	P-pP = 9.34 P-sP = 13.11 P-PcP = 30.23	P-pP = 9 P-sP = 13
KVTB ($\Delta=62^{\circ}.70$)	P-pP = 9.3 P-sP = 13.08 P-PcP = 38.29	P-pP = 9.5
MALT ($\Delta=60^{\circ}.27$)	P-pP = 9.26 P-sP = 13.05 P-PcP = 44.9	P-pP = 9
MFTX ($\Delta=69^{\circ}.2$)	P-pP = 9.34 P-sP = 13.15 P-PcP = 23.41	P-pP = 9
MRMX ($\Delta=68^{\circ}.93$)	P-pP = 9.39 P-sP = 13.15 P-PcP = 23.95	P-pP = 9.5
PTKO ($\Delta=59^{\circ}.80$)	P-pP = 9.24 P-sP = 13.04 P-PcP = 46.26	P-pP = 9.5
TRNX ($\Delta=68^{\circ}.77$)	P-pP = 9.38 P-sP = 13.14 P-PcP = 24.28	P-pP = 9.5 P-sP = 13
URFA ($\Delta=59^{\circ}.66$)	P-pP = 9.24 P-sP = 13.03 P-PcP = 46.65	P-pP = 10
YLVX ($\Delta=67^{\circ}.61$)	P-pP = 9.37 P-sP = 13.13 P-PcP = 26.69	P-pP = 9.5



Şekil 229. Harf sırasına göre ANTB-GBZX deprem istasyonları arasındaki kayıtları. (kayıtlar üzerinde P fazları IASP91'e göre işaretlenmiştir.)

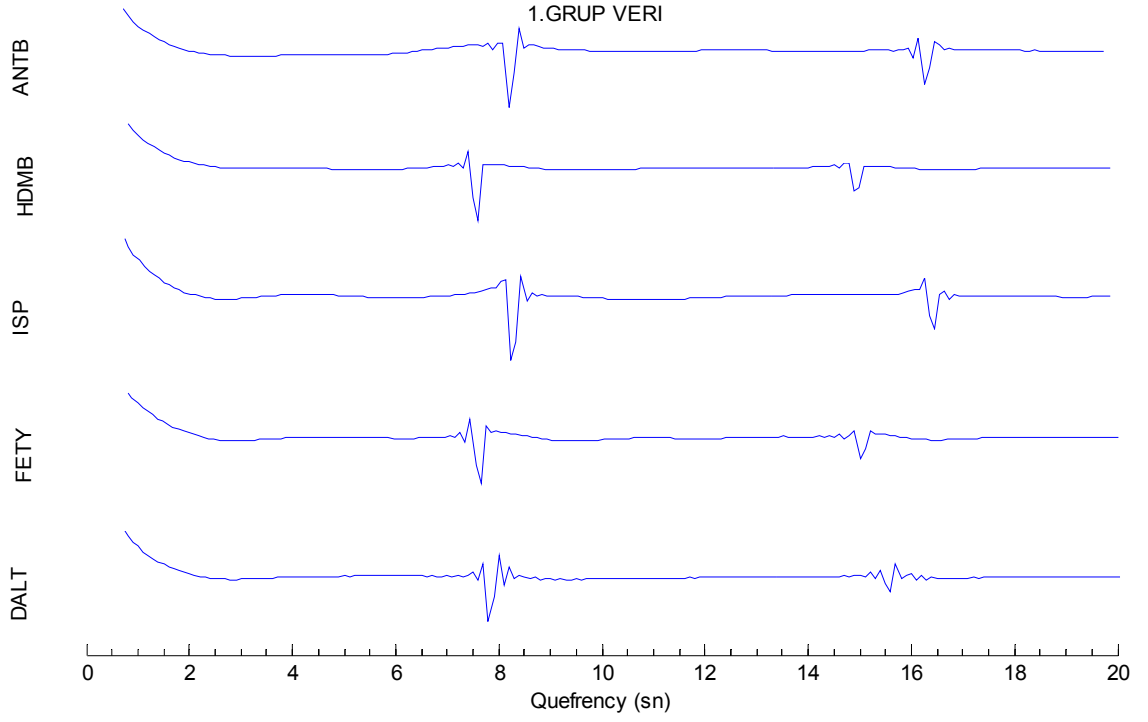


Şekil 230. Harf sırasına göre GNI-YLVX deprem istasyonları arasındaki kayıtları.
(kayıtlar üzerinde P fazları IASP91'e göre işaretlenmiştir.)

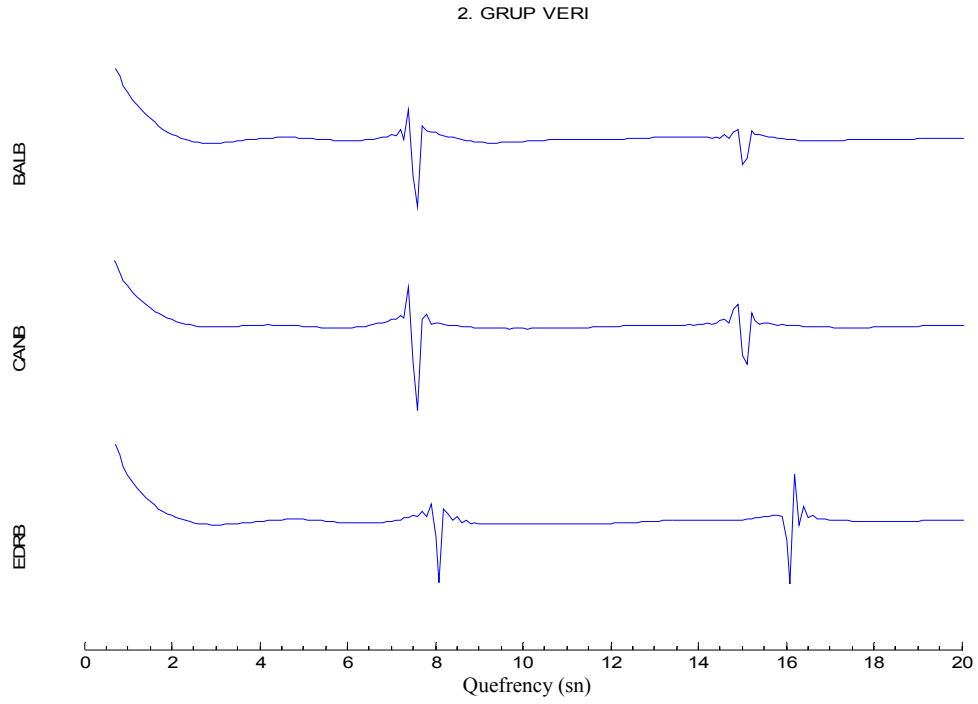
Şekil 229 ve Şekil 230'da 24 adet istasyona ait, yukarıda kepstrumları alınan verilerin ilk P dalga fazlarının IASP91'e göre beklenen varış zamanlarında işaretlemeleri yapılmıştır. Bu zaman işaretlemeleri kayıtlar üzerinde veri-işlem uygulanıp iyileştirme yapıldıktan sonra işaretlenmiştir. Tüm P fazları için ilk varıştan sonra 90 sn'lik kısmı alınarak fazların daha detaylı görülmesi amaçlanmıştır. Şekiller üzerinde ilk gelen 5 dalgaya ait (P, pP, sP, PcP, PP) geliş zamanları işaretlenmiştir. IASP91'e göre işaretlenen bu zaman değerleri grafik üzerinden de görüldüğü gibi birbirlerine çok yakındır. Bir dalga fazı tam olarak kendini tamamlayamadan diğer fazların gelmesiyle üst üste binerek kepstrum için çözümü zor bir problem karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 229 ve Şekil 230'da gösterilen sinyallerin yapılarına bakıldığında hepsinin birbirlerine benzedikleri görülebilir. Bu da uygulanan veri-işlemin ve alınan kayıtların birbirleriyle bağlantılı olduklarını göstermektedir.

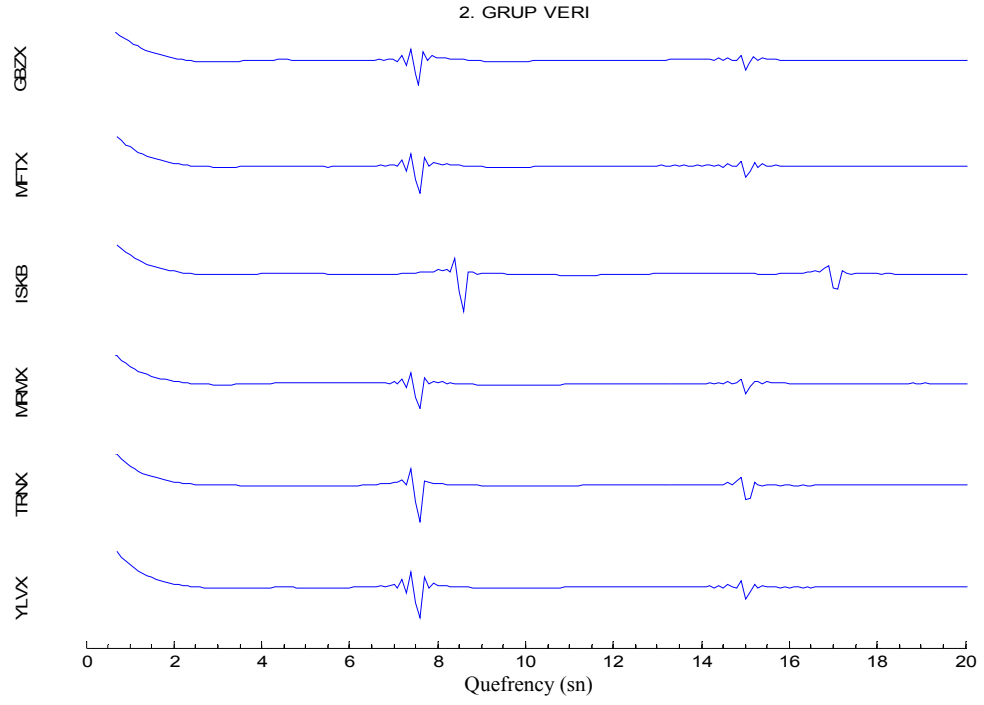
Tüm bu istasyonları kapsayan tek bir kepstral F-istatistik çalışması yerine daha detaylı incelenmek için çalışma üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler, kayıt istasyonu ile deprem episantr mesafelerine göre düzenlenmiştir. 1. bölge, 2. bölge ve 3. bölge olarak ayrılan bu veriler üzerinde ayrı ayrı kepstrumları alınarak buradan kepstral F-istatistik uygulaması yapılmıştır. Yapılan bu kepstral F-istatistik uygulaması da kendi arasında üç bölüme ayrılmıştır. Yukarıda değinildiği gibi üç farklı uzunlukta kullanılan Tukey pencereleri için üç farklı kepstral F-istatistik sonucu elde edilmiştir. Farklı uzunlukta pencere kullanılmasının sebebi; dalga fazları arasındaki zaman farkının daha da belirgin hale getirilmesi içindir. Yapay veriler için uygulamalarda 2 sinyalin toplamından oluşan dalgalar için kepstrumun daha basit çözüme ulaşabildiği, üç ve daha fazla sinyalin toplanmasıyla kepstrum sonuçlarının karmaşıklaştığı görülmüştür. İşte bu yüzden pencere uzunluğu küçük tutularak iki sinyalin toplamı gibi daha basit dalga fazları arasındaki zaman farkının bulunması amaçlanmıştır.



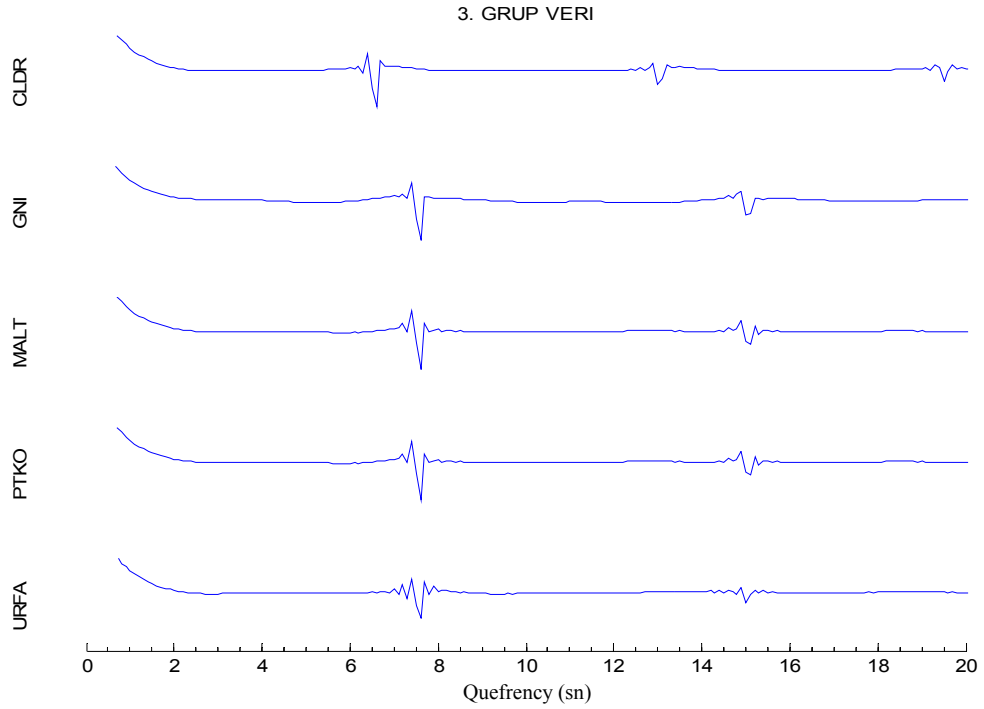
Şekil 231. Birinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları



Şekil 232. İkinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları 1. kısım



Şekil 233. İkinci grup veri için klasik kepstrum sonuçları 2. kısım

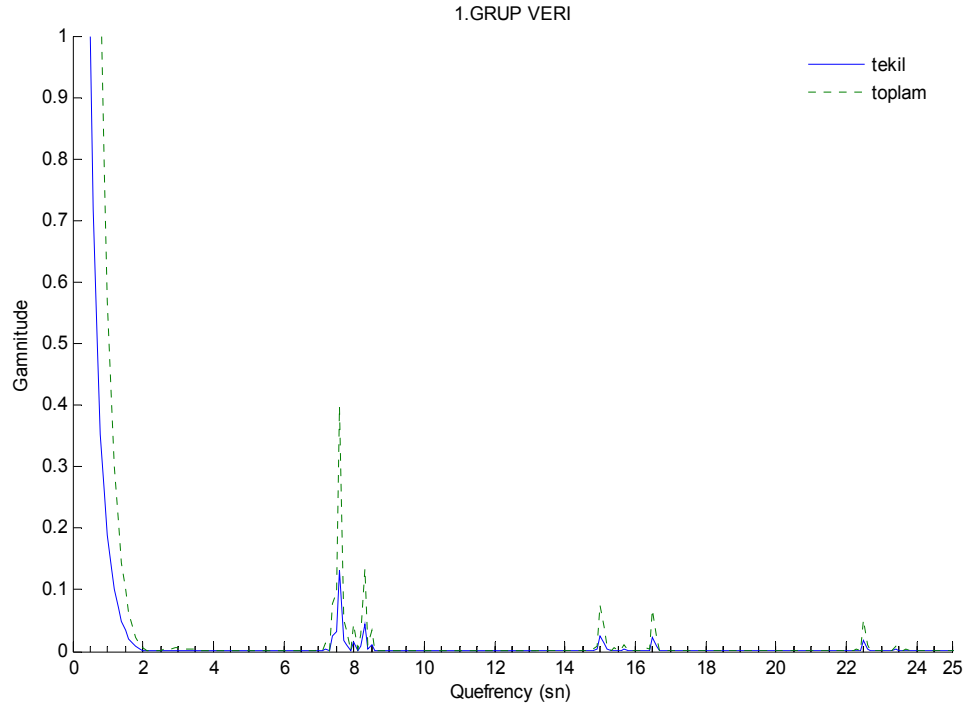


Şekil 234. Üçüncü grup veri için klasik kepstrum sonuçları

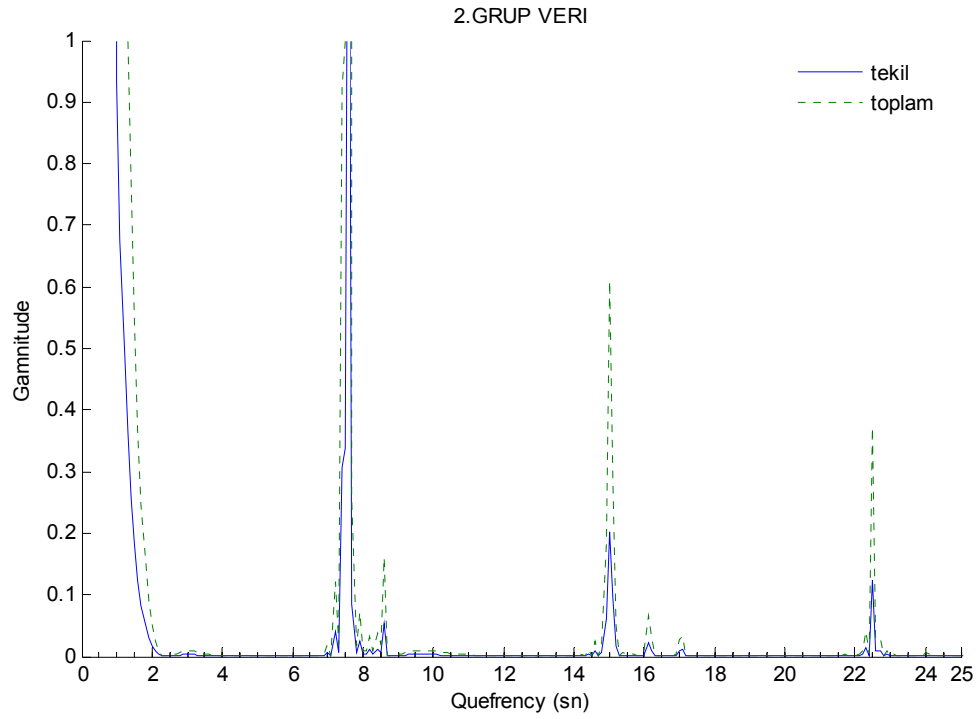
Şekil 231’de 8 tane istasyon ve en küçük uzunluktaki Tukey penceresi için hesaplanan klasik kepstrum sonuçları görülmektedir. Sonuçlardan açık bir şekilde pik değerleri fark edilmektedir. Yaklaşık tüm istasyonlar için 8 sn ve 16 sn’de pikler görülmektedir. Bu 8 sn’deki pik P-pP fazının farkına karşılık gelmekte, 16 sn’deki pik ise 8 sn’deki pikin tekrarlanmasından kaynaklanmaktadır. Sonuçta ortalama P-pP dalga fazı arasındaki geliş zamanı farkı zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre 9.3 sn’dir. Gerçek veriler üzerinde yapılan çalışma ile bulunan sonuç ise 8 sn’dir. Yani beklenenden daha kısa zaman farkı bulunmuştur.

Şekil 232 ve Şekil 233’teki ikinci grup veri için hesaplanan klasik kepstrum sonuçlarında da benzer sonuçlar bulunmuştur. Yine ortalama P-pP dalga fazı arasındaki geliş zamanı farkı zaman-uzaklık tablosuna (IASP’91) göre 9.4 sn’dir. Yukarıdaki kepstrum sonuçlarından bulunan sonuç ise yaklaşık 7.5 sn’dir.

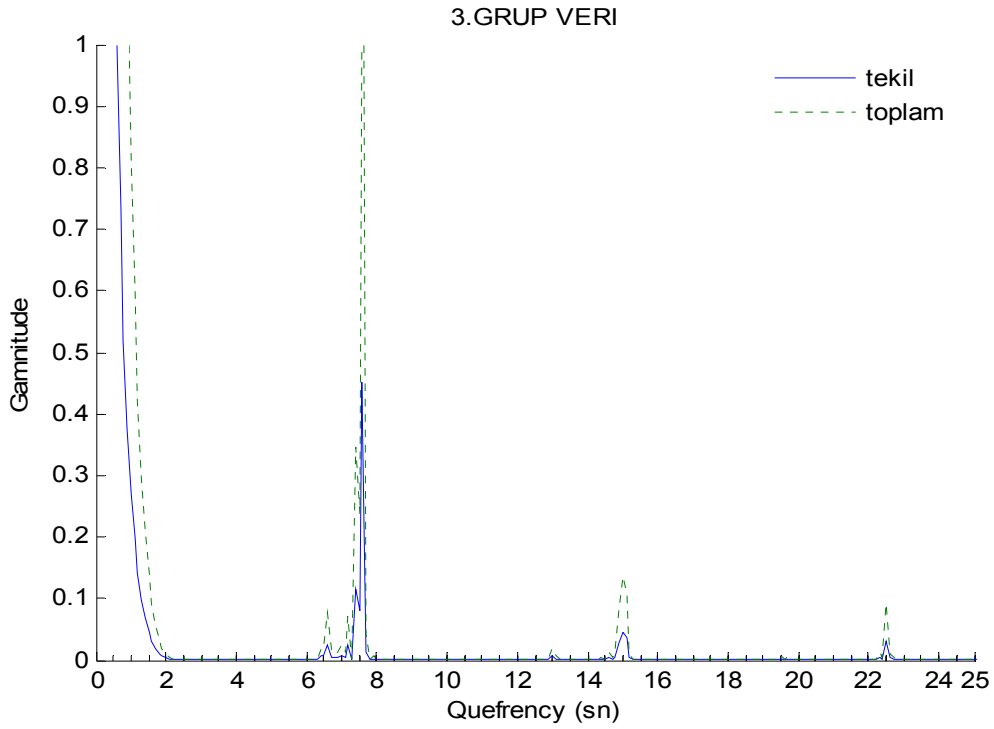
Şekil 234’de 3. grup veri için alınan en kısa pencere için bulunan sonuçlar da 7.5 sn’lik bir P-pP fazı arasındaki zaman farkı bulunmuştur. P-pP dalga fazı arasındaki geliş zamanı farkı zaman-uzaklık tablosuna (IASP’91) göre ise 9.2 sn’dir. Diğer iki pencere uzunluğu için klasik kepstrum sonuçları gösterilmemiştir. Ancak klasik kepstrum sonuçlarından elde edilen her üç boyuttaki Tukey penceresi için kepstral F-istatistik sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 235. Birinci grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları



Şekil 236. İkinci grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları

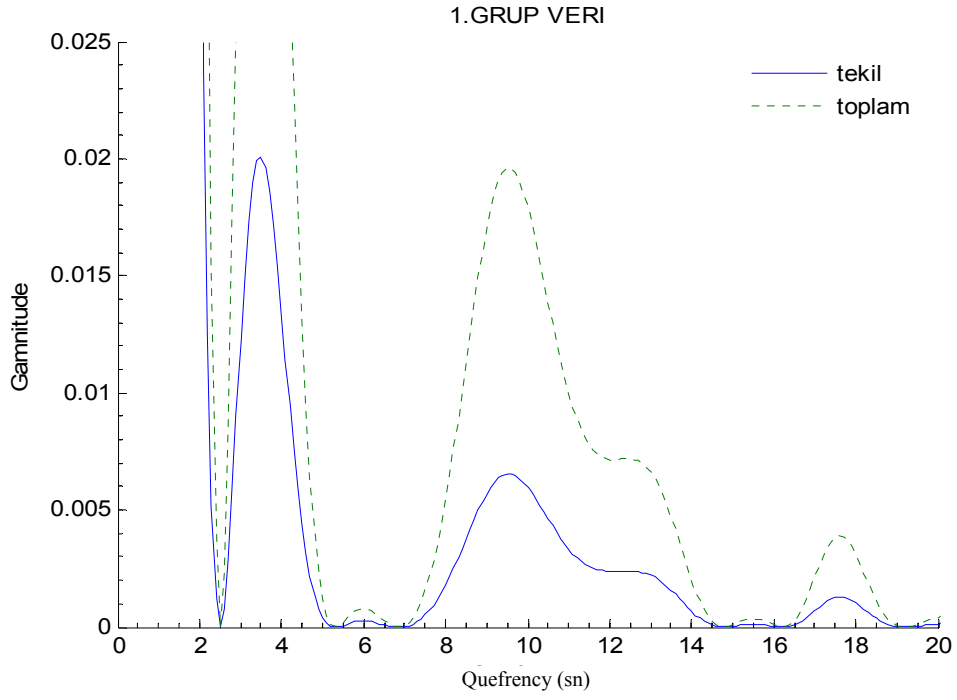


Şekil 237. Üçüncü grup veri için küçük boyutta pencereleme sonucunda Kepstral F-istatistik sonuçları

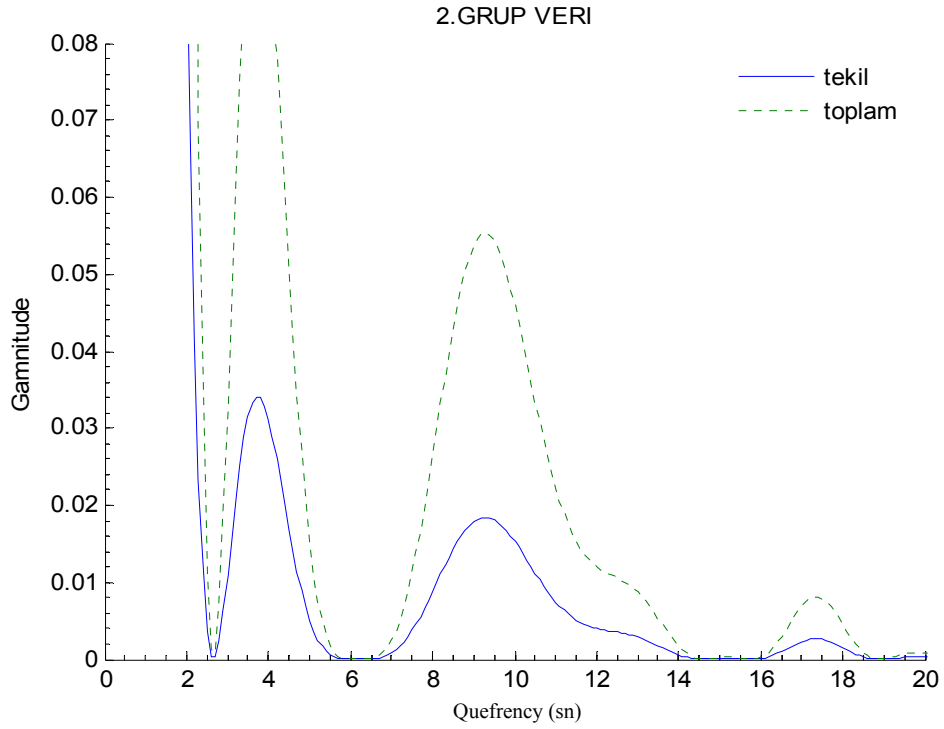
En küçük uzunluktaki Tukey penceresi için bulunan üç farklı bölgeye ait kepsral F-istatistik sonuçları yukarıda gösterilmiştir. Şekil 235'te en küçük uzunluktaki pencere için 1. Bölgeye ait kepsral F-istatistik sonucu gösterilmektedir. Şekil üzerinde 7.5 sn ve 8.2 sn de iki pikin ve bu piklerin tekrarlı pikleri 15 sn ve 16.4 sn'de görülmektedir. Aslında bu iki pik birleşik olması gereklidir. Çözümünden kaynaklanan nedenlerden ötürü küçük bir zaman kayması oluşmuştur. Bu iki pik değerinin ortalaması alınarak P-pP dalga fazları arasındaki zaman farkına gelen zaman bulunmuştur. Bu iki dalga fazı arasındaki zaman farkı zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre 9.3 sn'dir. Klasik kepsrum sonuçlarından da bulunduğu gibi ortalama kepsral F-istatistik sonucundan da 8 sn'lik bir gecikme zamanı farkı bulunmuştur.

İkinci grup veri için bulunan kepsral F-istatistik sonuçları Şekil 236'da gösterilmektedir. Şekil 236'daki pik değerleri için, P-pP fazları arasındaki gecikme zamanına karşılık 7.5 sn'lik bir gecikme bulunmuştur. Bu fazlar arasındaki gecikme zamanının tekrarlanması da 15 sn'de gözükmektedir.

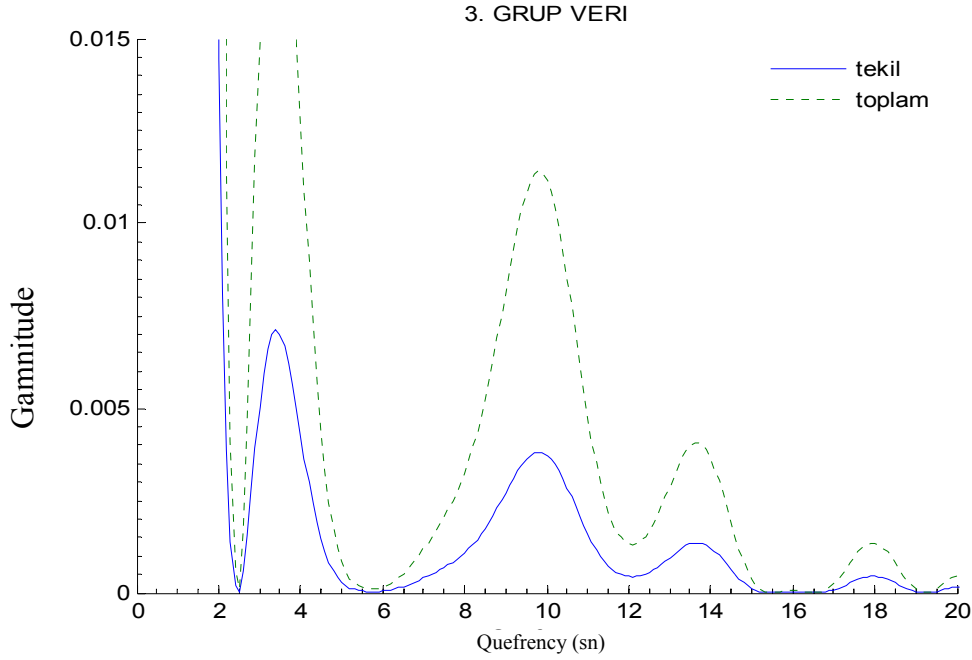
Şekil 237'de üçüncü grup veriye ait kepsral F-istatistik sonucu görülmektedir. Bu şekil üzerindeki pik değerinden P-pP fazları arasındaki gecikmeye ait yaklaşık 7.5 sn'lik bir gecikme zamanı bulunmuştur. Tekrarlanması da 15 sn de görülmektedir.



Şekil 238. Birinci grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Keprstral F-istatistik sonuçları



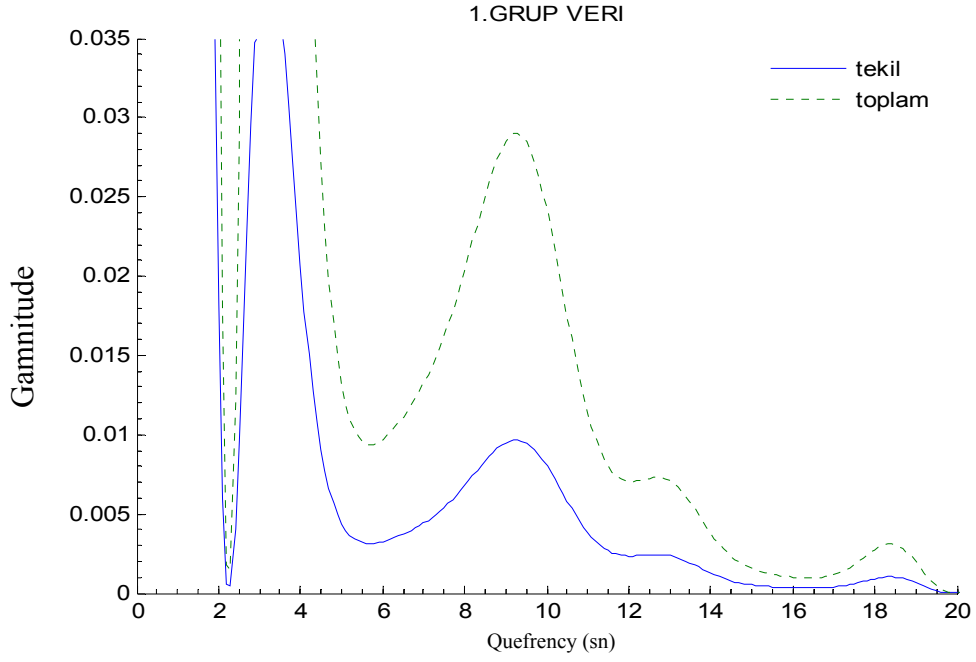
Şekil 239. İkinci grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Keprstral F-istatistik sonuçları



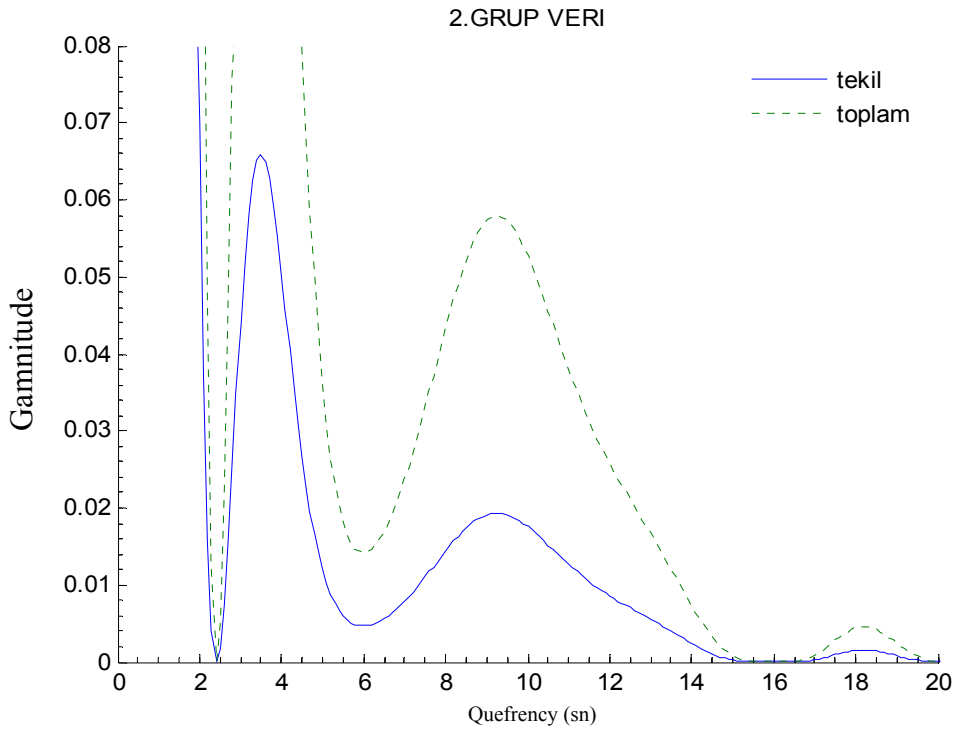
Şekil 240. Üçüncü grup veri için orta boyutta pencereleme sonucunda Keptstral F-istatistik sonuçları

Şekil 238’de orta uzunluktaki Tukey penceresiyle pencerelenmiş birinci bölgeye ait keptstral F-istatistik sonucu görülmektedir. Pencere boyu uzadıkça keptstral F-istatistik sonuçlarında da keskinlikten, yayvanlaşmaya doğru bir eğilim gözlenmiştir. Pencere boyu uzayınca, keptstrum için hesaplanacak dalga boyu uzamakta ve bir kaç fazın etkisiyle durum karmaşıklaştığı için keptstrum sonuçları da keskin pikler verememektedir. Şekil 238’de yaklaşık 9 sn, 13 sn ve 18 sn’de pikler görülmektedir. Bu piklerden ilki P-pP dalga fazları arasındaki gecikme zamanına karşılık bulunan değerdir. 13 sn’deki pik ise P-sP dalga fazları arasındaki zaman farkına karşılık gelmektedir. 18 sn’deki pik ise 9 sn’deki pikin tekrarlanmasından kaynaklanmaktadır.

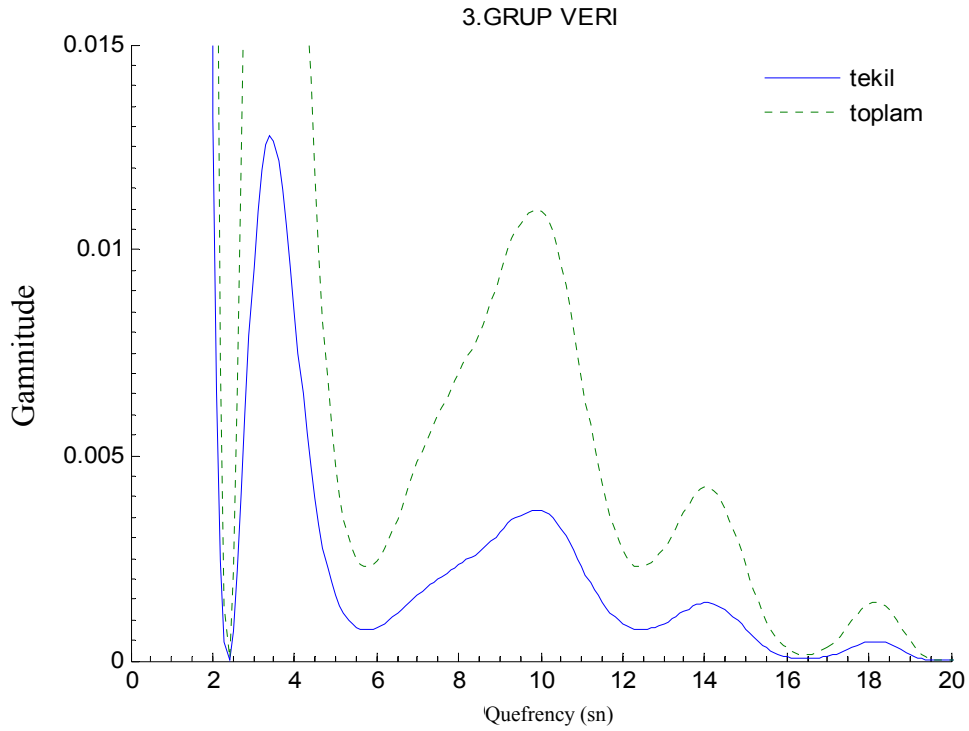
Şekil 239’daki ikinci bölgeye ait keptstral F-istatistik sonuçlarından da yaklaşık 9 sn ve 17.5 sn’de iki pik bulunmaktadır. 9 sn’deki pik değeri P-pP fazı arasındaki zaman farkına karşılık, 17.5 sn deki pik ise 9 sn’deki pikin tekrarlanması sonucudur. Aslında 13 sn’de de küçük bir pik değeri görülebilir, fakat çok fazla belirgin olmadığı için yorumlanmamıştır. Üçüncü bölgedeki keptstral F-istatistik sonuçları Şekil 240’da gösterilmiştir. Bu şekle göre 9 sn, 13.5 sn ve 18 sn’de pikler açıkça görülmektedir. Bu piklerden ilki P-pP fazları arasındaki zaman farkına, 13.5 sn’deki pik P-sP fazları arasındaki zaman farkına karşılık gelmektedir. 18 sn’deki pik ise 9 sn’deki pikin tekrarlanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 241. Birinci grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda
Kepstral F-istatistik sonuçları



Şekil 242. İkinci grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda
Kepstral F-istatistik sonuçları



Şekil 243. Üçüncü grup veri için büyük boyutta pencereleme sonucunda
Kepstral F-istatistik sonuçları

Şekil 241’de en uzun Tukey penceresi kullanımı sonrası kepstral F-istatistik sonucu gösterilmektedir. Grafik üzerinde 9 sn, 13 sn ve 18.5 sn’de pikler görülmektedir. 9 sn’deki pik yine P-pP fazları arasındaki gecikme farkına, 13 sn’deki pik P-sP fazları arasındaki gecikme zamanı farkına karşılık gelmektedir. 18.5 sn’deki pik, 9 sn’deki pikin tekrarlanması sonucu oluşmuştur. Pencere uzunluğu arttırıldıkça piklerdeki keskinlik iyice azalmaktadır. Yani pencereleme sonucunda daha fazla veri kepstrum işlemine girecektir ve daha fazla dalga fazı için kepstrum çözümleri de kesinlikten uzak olacaktır.

Şekil 242’deki ikinci bölge içinde 9 sn ve 18 sn’de P-pP fazları arasındaki gecikmeyi temsil eden pikler görülmektedir. Üçüncü bölge için Şekil 243’de kepstral F-istatistik sonucu gösterilmektedir. Bu sonuca göre yaklaşık 9.5 sn, 14 sn ve 18 sn ‘de pikler görülmektedir. 9.5 sn’deki pik değeri P-pP fazları arasındaki zaman farkına, 14 sn’deki pik değeri ise P-sP fazları arasındaki zaman farkına karşılık gelmektedir. 18 sn’deki pik değeri 9.5 sn’deki pik değerinin tekrarlanmasıyla oluşmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sismoloji açısından bir depreme ait cisim dalga paketi içerisindeki öncü fazlardan olan P, PcP, pP, sP, PP gibi fazların ayrılması amaçlanmıştır. Bunun için daha önce yapılmış olan çalışmaların ışığında yöntemlerin değişik durumlarda çözümleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 2’de gösterilmiş olup, bu bölümde çalışmalardan elde edilen sonuçlar ayrı ayrı yorumlanmıştır.

4.1. Yapay Modeller Üzerinde Yapılan Çalışmalar

4.1.1. Öz-ilişki Sonuçları

4.1.1.1. Farklı Gecikme Zamanları İçin Öz-ilişki Sonuçları

Farklı gecikme zamanları için iki tür model oluşturulmuştur. İlki sadece bir kaynak ve onun bir adet yansımasından oluşan iki sinyalin giriştirilmesiyle, diğeri ise bir kaynak ve bu defa iki adet yansımasından oluşan toplam üç adet sinyalin giriştirilmesiyle elde edilmiştir. İki adet sinyalin giriştirilmesiyle yapılan modellerde, yankı ile kaynak arasındaki gecikme zamanları maksimum 5 sn’den başlayarak 0.5 sn’ye kadar düşürülmüştür. 5 sn’lik durum için iki olay çok rahat ayırt edilebilir durumdadır. Öz-ilişki fonksiyonun özelliğine bağlı olarak simetrik bir fonksiyon olan sonuçlar için, kaynak fonksiyonunun sonucu ortada kalan maksimum pik ile yankıdan kaynaklanan kaynağın her iki tarafındaki diğeri iki maksimum pikin zaman ortamındaki değeri tam olarak 5 sn’lik bir farkı göstermektedir. Yani modeldeki gecikme zamanı elde edilmiştir. 3 sn’lik model içinde bulunan sonuçlar öz-ilişki fonksiyonunun yapısına bağlı olarak çok net olmasa da kaynağın maksimum değeriyle yankının maksimum değerleri arasında 3 sn’lik bir pik değeri bulunabilir. 2.5 sn’lik model sonuçlarında öz-ilişki fonksiyonundaki olayların üst üste binmesi sonucu açıkça görülecek şekilde dalgacıklar birbirlerinin etkisini azaltmışlardır. Yani olayların üst üste binmeleri sonucu 2.5 sn’lik kaynak yankı maksimum pik değerleri açıkça görülmektedir. Diğeri 1.5, 1 ve 0.5 sn gecikme değerli modeller için, önceden modeli bilinmesi de göz önüne alınarak 1 sn gecikmeli duruma kadar ayırt edilebilirlik söylenebilir. Fakat başlangıç modeli hakkında hiçbir bilgisi olmayan bir kişi için 2.5 sn’lik gecikme değerine kadar ayırımın yapılabildiğini söylemek daha doğru

olmaktadır. Netice olarak, model için kullanılan Berlage fonksiyonunun 5 sn'lik bir dalgacık olduğu göz önüne alınırsa, dalga boyunun yarı süresi kadar bir oranda girişmiş dalga modellerinin ayrımı yapılabilir sonucuna varılabilir. Üç sinyalin girişmesinden oluşan modeller içinde aynı durum ortaya çıkmaktadır. Yapılan modellemede kaynak ile 1. yankı arasındaki zaman farkı 5 sn olarak sabit tutulup, 2. yankı kaynağa göre 10 sn'den 5.5 sn'ye kadar değişik gecikme zamanlarıyla girştirilmiştir. Sonuçlarda da 7.5 sn'ye kadar çözümlerin kolaylıkla fark edilebilir olduğu bir kez daha gözlenmiştir. 7.5 sn'nin altındaki zaman değerleri için sonuçlar sanki iki sinyalin girştirilmesiyle oluşan model sonuçlarına benzemektedir.

Kullanılan kaynak sinyali, matematiksel birkaç değişiklikle toplam süresi 3 sn olan değiştirilmiş bir Berlage fonksiyonu elde edilebilir. Bu yeni fonksiyon için aynı şekilde bir yankısı oluşturularak ve bu yankı ile kaynak fonksiyonu arası gecikme 5 sn'den 0.5 sn'ye kadar değişen gecikmeler ile girştirilmiştir. Bu modellere ait öz-ilişki sonuçları için 1.5 sn'ye kadar bir ayırımın kolaylıkla yapılabildiği söylenebilir. Yani toplam dalga süresinin yarısına kadar olan gecikme zamanlı sinyaller öz-ilişki fonksiyonundan kolaylıkla bulunabilir.

4.1.1.2. Kaynak İle Yankıları Arasındaki Faz Farkları İçin Öz-ilişki Sonuçları

Bir kaynak ve onun yankısından ibaret modeller için, değişik faz bileşenleri yankıya eklenerek sabit bir gecikme zamanı (5 sn) için öz-ilişki sonuçları elde edilmiştir. Faz bileşenleri 0^0 'den 270^0 'ye kadar 45^0 'lik farklar için modellenmiştir. Çıkan sonuçlar için kaynak ile yankısı arasındaki faz farkı yankının öz-ilişki fonksiyonunda karşılık gelen maksimum genliğini etkilediği görülmektedir. Bu genlik değeri, dalga fazları arasındaki zaman farkına karşılık olması gereken zaman değerinin sağında veya solunda oluşabilir, ya da genlik küçülerek tam tersi yönde büyümeye başlayabilir.

4.1.1.3. Farklı Gürültü Oranları İçin Öz-ilişki Sonuçları

Gürültülü modeller, kaynak ve bir yankıdan oluşan yapı üzerine %5'ten, %25'e kadar değişik oranlarda normal dağılımlı Gauss gürültüsü eklenerek oluşturulmuştur. Gürültülü modellerin öz-ilişki sonuçlarında kaynak ve yankı arasında 5 sn'lik sabit bir gecikmeli

model kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar açısından öz-ilişki fonksiyonuyla bulunabileceği maksimum %20 gürültü seviyesidir. Bu gürültünün üstündeki gürültü oranları için yankının genlikleri gürültünün genlikleri tarafından bastırılarak görülmez hale gelmektedir.

4.1.2. Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları

4.1.2.1. Farklı Gecikme Zamanları İçin Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları

Spektral sıfırlar yöntemi sadece iki adet sinyalden oluşan girişmiş dalga modelleri için uygulanabilir. Frekans ortamında sırasıyla maksimum ya da minimum enerjilerin işaretlenerek bunların başka bir grafik yardımıyla oluşturacakları doğrusallığın eğiminin tersinden iki sinyal arasındaki zaman farkı bulunabilir. Farklı gecikme zamanları için (5 sn'den 0.5 sn'ye kadar) çıkan genlik spektrumu sonuçlarında 1.5 sn'lik modele kadar maksimum ya da minimum en az iki değer ayrımı yapılabilmesine karşın 1 ve 0.5 sn gecikmeli modeller için sanki tek bir olayın genlik spektrumu sonucunu vermekte ve buradan spektral sıfırlar grafiğine hiçbir değer aktarılamadığı için bir çözüme ulaşılamamıştır. Sonuç olarak spektral sıfırlar yöntemi için genlik spektrumu ortamında en az iki tane maksimum ya da minimum değer okunabiliyorsa spektral sıfırlar sonuç tam olmasa da yaklaşık bir sonuç vermektedir. Uygulamada çoğu zaman karşımıza böyle iki üç tane maksimum ya da minimum dışında çok fazla sayıda değerler kümesi çıkabilir. Bu durumda hangisinin gerçek hangisinin gürültü olduğunun iyi ayırt edilmesi gereklidir.

4.1.2.2. Farklı Gürültü Oranları İçin Spektral Sıfırlar (Nulls) Sonuçları

Farklı gürültü oranları için bulunacak sonuçlarda gürültü oranlarının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Yaklaşık %5'ten %50'ye kadar değişik oranlarda gürültülü verilerin çözümlerinde gürültü oranının üst sınırı %20 olarak alınması sağlıklı sonuçlar için önemlidir. Bu orandan büyük değerler için frekans ortamında hâkim maksimum ya da minimum frekansların ayırt edilebilmesi güçleşmektedir.

4.1.3. Kepstrum Sonuçları

4.1.3.1. Farklı Gecikme Zamanları İçin Kepstrum Sonuçları

Bir kaynak ve onun bir adet yankısından oluşturulan 2 adet sinyale ait farklı gecikme zamanlı sinyal modellerinin üç değişik kepstrum sonuçlarında hemen hemen benzer sonuçlar gözlenmektedir. 5 sn'den 0.5 sn'ye kadar değişik gecikmeler için çıkarılan sonuçlarda ayırt edilebilir minimum gecikme zaman 1 sn gecikmeli olan girişmiş dalgacığa aittir. Bu gecikme zamanına kadar elde edilen sonuçlarda gayet açık bir şekilde kaynak ve yankıya ait dalga pikleri ayırt edilmektedir. 1 sn ve daha düşük gecikme zamanları için yankının oluşturacağı pik kaynağa girışerek ayırt edilmesi güçleşmiştir. Fakat 0.5 sn ve daha az gecikme zamanlı modellerde çözümler büyütülere bakılırsa yankıya ait tekrarlanmaların varlığı görülebilir. Bu sonuçlar her üç farklı yoldan hesaplanan kepstrum sonuçlarında da görülmektedir. Diğer iki yönteme göre kepstrum yöntemi 1 sn ve daha küçük gecikme değerine kadar ayırt edebilmesiyle daha gelişmiş bir yöntem olduğunu göstermektedir.

4.1.3.2. Farklı Faz Bileşenli Kaynak Ve Yankısından Oluşan Modeller İçin Kepstrum Sonuçları

Faz etkisi çalışmaları için 0^0 'den 45^0 artımlarla 360^0 'ye kadar kaynağa göre yankı dalgacığına bu değişik faz farkları uygulanarak modeller oluşturulmuştur. Kaynak ve bir yankısından oluşun yapı modeli için gecikme zamanı 4 sn olacak şekilde tüm modeller için sabit tutulmuştur. Sonuçlar faz bileşeni eklenmeyen sonuçlardan biraz farklılıklar göstermektedir. Gecikme zamanı 4 sn'de belirgin bir delta fonksiyonu vardır ama faz etkisine bağılı olarak pikin keskinliğinde bir değışim ve negatif pozitif gamnitüde yayılımlar gözükmektedir. 180^0 'de delta fonksiyonları sadece normal olması gereken delta fonksiyonu yönünün tam tersi yönde dizilmişler ve şekilsel bir bozulma göstermemişlerdir.

4.1.3.3. Frekans İçeriğı Hafifçe Değıştirilmiş Kaynak Ve Yankısından Oluşun

Modeller İçin Kepstrum Sonuçları

Model oluşturmada kullanılan Berlage fonksiyonunun merkez frekansı 1 Hz'dir. Merkez frekansı değiştirilmiş model çalışmalarında hem kaynağın hem de yankısının merkez frekansları birbirlerinden bağımsız olarak değiştirilmiştir. Frekans içeriklerinin değiştirilmesiyle bulunan sonuçlarda, pikler üzerinde değişimler açıkça gözlenmiştir. Kaynak ile yankısı arasındaki merkez frekansları oranları çok küçük olmasına rağmen kepstrum sonuçları üzerine etkileri oldukça fazladır. Burada dikkat edilmesi gereken merkez frekansları arasındaki fark arttıkça kepstrumdaki bozulmayla birlikte kompleks kepstrumun negatif quefrensy'lerde etkileri gözlenmektedir. Sonuç olarak merkez frekansları birbirine eşit olmayan sinyallerden oluşan girişmiş modeller kepstrum üzerinde bozucu etkilere neden olmaktadır. Bu bozulmanın büyüklüğü gecikme zamanının net olarak belirlenmesine engel olmaktadır.

4.1.3.4. Gürültülü Modeller İçin Kepstrum Sonuçları

Kepstrum çalışmalarında beyaz ve renkli gürültü olmak üzere iki tür gürültü kullanılmıştır. Sabit 5 sn gecikme değerli bir kaynak ve yankısı üzerine çeşitli sinyal/gürültü oranlı bileşenler ayrı ayrı uygulanarak üç değişik kepstrum için çözüm aranmıştır. Her iki tür gürültü çeşidi için gürültü oranları çok küçük olmasına rağmen kepstrum sonuçları oldukça etkilenmektedir. Burada bir sınır gösterilmesi bakımından elde edilen sonuçlar ışığında güvenilir gürültü sınırı %0.05 olarak alınabilir. Bu sonuç renkli gürültü oranları içinde benzerdir.

4.1.3.5. Ağırlıklandırılmış Kepstrum Sonuçları

Kepstrum üzerine ağırlıklandırma işlemi sadece sonuçların biraz daha ayrımlılığının artırılması için uygulanmıştır. Kepstrum sonuçlarına bakıldığında yankıların pikleri artan quefrensy'lerde bir azalamaya maruz kaldıkları görülmektedir. Bu da kepstrum alınırken formülasyonda kullanılan logaritma işleminden kaynaklanmaktadır. İşte bu logaritmadan kaynaklanan azalma iyi bir şekilde tanımlanabilirse, bu azalmanın tam tersi bir işlem uygulanarak, azalan pikler büyütülmüş ve daha belirgin hale getirilmiş olunacaktır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bu büyümeler açıkça görülmektedir.

4.1.3.6. Kaynak Fonksiyonu Elde Etme Sonuçları

Kaynak fonksiyonunun elde edilmesindeki amaç kaynak ve yankısının birbirlerinden ayrılarak zaman ortamında her ikisinin ayrı ayrı gösterilmesidir. Bunun için kepstrum ortamında yankılara ait pikler süzülerek sadece kaynağa ait etki bırakılır ve buradan zaman ortamına dönülerek sadece kaynağın fonksiyonu elde edilebilir. Bunun için kepstrum ortamında yankıların piklerine uygun tarak fonksiyonu, alçak geçişli süzgeç hazırlanarak yapılabilir. Hazırlanan bu fonksiyonlarla kepstrum sonuçları çarpılarak süzülme işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar için tarak fonksiyonuyla 1 sn'ye kadar zaman farkı bulunan kaynak ve yankısının ayrımı sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir. 0.5 sn'lik zaman farklı toplam sinyaller için kaynak fonksiyonu tam olarak elde edilememiştir. Kepstrum ortamında yankılara ait delta fonksiyonları kaynağa yaklaştıkları için filtreleme yapılırken kaynağa ait bilgilerde yok edilmiştir. Bunun için filtreleme yapıldıktan sonra kaynağa ait delta fonksiyonlarına interpolasyon uygulanarak veri düzleştirilip ters kepstrum işlemleriyle sonuçlar düzleştirilebilir. Alçak geçişli filtreleme içinde aynı sonuçlar geçerlidir. Yüksek geçişli filtreleme alçak geçişli filtrelemenin 1'den farkı olduğu için bunun için çözümler üretilmemiştir.

4.1.3.7. Karmaşık Kaynaklı Fonksiyonlar İçin Kepstrum Sonuçları

Kaynak ve bir yankısından oluşan modeller için küçük zaman farklarıyla birkaç benzer dalgacığın girştirilmesiyle karmaşık yapılı modeller oluşturulabilir. Oluşturulacak bu şekildeki modeller normal kaynak ve yankılı modellere göre kepstrum sonuçları üzerinde farklı neden olacaktır. Normal kaynaklı modeller kepstrum üzerinde düzgün bir yapıya sebep olurken, karmaşık yapılı modellerde kaynağın karmaşıklığına bağlı olarak kepstrum sonuçları üzerinde küçük dalgalanmalara neden olmaktadır.

4.1.3.8. Bir Kaynak Ve İki Yankısından Oluşan Dalga Formu İçin Kepstrum Sonuçları

Bir kaynak ve bu kaynaktan türemiş 2 adet yankısının girişmesiyle oluşturulan modeller içinde kepstrum sonuçları temelde benzerdir. Farklı gecikme zamanları için iki sinyalden oluşan modellerde geçerli olan ayrımlılık sınırı burada da geçerlidir. Fakat

burada yankılar iki tane olmasından dolayı 3 sinyalin birbirlerine göre farklarından yeni delta fonksiyonları (pik) türeyecektir. Bu pikler sahte piklerdir ve yorumcunun bunlara dikkat etmesi gerekmektedir. Bu piklerin nasıl oluştukları ve matematiksel olarak açıklamaları Ek-1'de verilmiştir. Kaynak ve yankılarının birbirlerine göre faz farklarının değişik olması da iki sinyalden oluşan modellerdekine benzer sonuçlar üretmektedir. Yine merkez frekansları ve gürültülü sonuçlar, kaynak ve bir yankısından oluşan modeller için bulunan sonuçlara benzer sonuçlar bulunmuştur.

4.1.3.9. Pencere Boyunun Kepstrum İşlemi Üzerine Etkisi

Pencereleme yaparak bir veri sınırlandırılır. Bu sınırlandırma kepstrum üzerinde bir etkiye neden olmaktadır. Sonuçlardan, pencere boyunun kepstrum üzerinde a bir bozulmaya neden olduğu görülür. Ayrıca yankının kesilmesiyle, kesilmenin oranına bağlı olarak yankı kaynaktan farklı bir dalga formuna sahip olacağından kepstrum için çözüm zorlaşmıştır. Yankının tamamen kesilmesiyle sadece kaynağın etkisi kalarak kepstrum üzerinde başka hiçbir delta fonksiyonu değeri görülmemiştir.

4.1.3.10. Kepstral F-İstatistik Uygulama Sonuçları

4.1.3.10.1. Farklı Gecikme Zamanlı Dalgalar İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları

Kepstrum sonuçlarının iyileştirilmesi için kullanılan bu yöntem, yerel bir bölgede yerleştirilmiş birden fazla kayıt istasyonu ölçülerini kullanmaktadır. Bu yöntem istatistiksel bir yöntem olup üç farklı yoldan hesaplanan kepstrum sonuçlarını güçlendirmek amacıyla uygulanmaktadır. Bunun için yapay olarak bir bölgede üç farklı istasyonda kayıt edilmiş, bir kaynak ve yankısından oluşan girişmiş bir dalga formu kullanılmıştır. Bu dalga formu ilk etapta aralarındaki gecikme 8 sn olacak şekilde oluşturulmuştur. Zaten kepstrum sonuçları üzerinde açık bir şekilde bu ayırım yapılabilir. Yapılan kepstral F-istatistik sonuçlarında bu ayırım daha da açıktır. 1. ve 2. yankı genlikleri daha da büyüyerek yorumcuya kolaylık sağlamaktadır. Kepstral F-istatistik üzerinde tekil ve toplam olmak üzere iki farklı hesaplamadan çıkan sonuçlar gösterilmektedir. Diğer bir model olarak 3 sn

gecikme zamanlı dalga modeli için sonuçlar kepstral F-istatistikle daha belirgin hale getirilmiştir.

4.1.3.10.2. Gürültü İçeren Dalga Formları İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları

Gürültü oranı %0.01 olan ve bir kaynak ve yankısından oluşan, aralarındaki gecikme zamanı 8 sn ve 3 sn olan girişmiş sinyallere ait kepstrum sonuçları irdelenmiştir. İlk olarak 8 sn gecikmeli model için üç farklı kepstrum sonucu gösterilmiştir. Daha sonra kepstral F-istatistik sonucu gösterilmiştir. İki sonuç karşılaştırmalı olarak kıyaslanırsa belirti olarak genlik farkları bariz olarak kepstral F-istatistikte daha açık ve yorumcuya kolaylık sağlamaktadır. Aynı sonuçlar 3 sn'lik model içinde geçerlidir. Burada ilk iki yankı pikine kadar olan tekrarlı genlikler güvenilirlik için yeterlidir. Bundan sonra tekrarlı olarak devam eden genlikler gürültünün de etkisiyle güvenilir olmayabilir.

4.1.3.10.3. Pencereleme İşlemiyle Gürültülü Veriler İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları

8 sn ve 3 sn gecikmelere sahip yukarıdaki gibi %10 gürültüye sahip modellerde pencereleme yapılarak gürültülerin etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. İki sinyalin girişmesiyle oluşturulmuş modeller için sinyal toplamının başlangıç ve bitişi zaman ortamında kabaca tespit edilebilirse, seçilecek olan iyi bir pencereyle olayın dışındaki diğer gürültüler elimine edilebilir. Kayıt, istenilen deprem fazlarını içerecek şekilde pencerelenirse pencerelenen bu kayıt için hesaplanan bu kepstrum ve kepstral F-istatistik daha başarılı sonuçlar verecektir. Bu şekilde oluşturulan kepstrum ve kepstral F-istatistik sonuçları pencerelenmemiş sinyallere oranla daha belirgin delta fonksiyonları vermektedir. Kepstral F-istatistik sonuçları daha güvenilir bir hale getirilmiştir. Gürültü genlikleri daha da azalarak gerçek yankı genlikleri belirgin bir hal almıştır.

4.1.3.10.4. Filtreleme Sonrası Gürültülü Veriler İçin Kepstral F-İstatistik Sonuçları

Kepstral F-istatistik için son iyileştirme olarak sinyal/gürültü oranını arttırmaya yönelik filtreleme işleminin uygulanmasıdır. %10 gürültülü veriler uygun bir Butterworth

süzgeciyle frekans ortamında çarpılmasıyla gürültülü yüksek frekanslar elimine edilmeye çalışılmaktadır. Sonuçlarda süzölmüş ve süzölmemiş veriler üzerinde güröltülerin etkisi açıkça görölmektedir. İki sinyalden oluşın girişmiş model dalga formu daha da belirginleşerek kepstrem sonuçları için çözümler kolaylaşmıştır. Kepstral F-istatistik sonuçlarında bu durum açıkça görölmüştür. Yankıya ait pikler daha da belirginleşerek güröltülerin enerjileri azalmıştır.

4.2. Gerçek Veriler Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Gerçek veriler üzerinde yapılan ilk çalışma Peru-Brezilya sınırında 01.05.1986 tarihinde oluşmuş bir depreme ait 7 farklı deprem istasyonunda kayıt edilen veriler kullanılmıştır. Farklı episantr uzaklıklarındaki bu depremler için hesaplanan kepstrem sonuçlarında P-PcP ve P-pP fazları arasındaki zaman farkı bulunmaya çalışılmıştır. Tüm istasyon kayıtları için bulunan sonuçlardan bu fazlar arasındaki zaman farkı, zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre yaklaşık aynı sonuçlar bulunmuştur. Deprem derin bir deprem ve kayıt istasyonlarına uzaklıkları da fazla olduğu için zaten kepstrem alınmadan zaman ortamında fazlar açık bir şekilde görölmektedir. Kepstrom alınarak gözle görölen bu dalga fazları arasındaki farklar daha kesin bir şekilde ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca yöntemin geçerliliği de bu şekilde kanıtlanmış olmaktadır. Kepstrom ortamında delta fonksiyonlarının durumuna bakılarak dalgalar arasındaki faz farklılıkları hakkında bilgede alınabilir.

Kepstrom çalışmasına destekleyici olarak bir de bu veriler üzerinde öz-ilişki fonksiyonu yardımıyla dalga fazları arasındaki zaman farkı bulunmaya çalışılmıştır. Yapılmış olan tüm öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından kabaca dalga fazları arasındaki zaman farkına karşılık gelen yerlerde dalgalanmalar gözükmemektedir. Ayrıca yine öz-ilişki fonksiyonu üzerinden dalga şekillerine bakarak dalga fazları arasındaki faz farkı bulunmaya çalışılmıştır.

İkinci gerçek veri olarak 02.03.2005 tarihinde oluşmuş Banda Sea depremi kullanılmıştır. Bu deprem K.T.Ü. "TBZ" istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu kayıt üzerinde yapılan iyileştirme çalışmalarından sonra kepstrem ve öz-ilişki fonksiyonları hesaplanmıştır. İlk olarak kepstrem sonucunda iki tane pik görölmektedir. 47 sn'de ve 70 sn'deki bu pikler zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre sırasıyla P-PcP ve P-pP fazları arasındaki gecikmeleri karşılık gelmektedir. IASP91 modeline göre bulunması gereken

zaman değerleriyle kepstrum ve öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından bulunan zaman değerleri birbirlerine çok yakındır.

Üçüncü kayıt olarak 10.08.2004 tarihinde olmuş olan Hindukuş depremi kullanılmıştır. Bu deprem yine K.T.Ü. “TBZ” istasyonunda kayıt edilmiştir. Bu kayıt üzerinde veri-işlem çalışmalarından sonra yapılan kepstrum ve öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından P-PnPn ve P-sP dalga fazları arasındaki zaman farkları bulunmaya çalışılmıştır. Elde edilen kepstrum sonuçlarından, zaman-uzaklık tablosuna (IASP91) göre bulunan değerlerle yakın sonuçlar bulunmuştur. Öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından da kepstrum sonuçlarını destekleyici değerler bulunmuştur.

En son gerçek veriler üzerine çalışma bir kepstral F-istatistik çalışmasıdır. Bilindiği gibi kepstral F-istatistik çalışması için bir depreme ait yerel bir istasyon ağı tarafından kayıtlar gerekmektedir. Bu amaçla 24.12.2004 tarihinde olan Sumatra depremine ait 24 adet istasyon kaydı kullanılmıştır. Bu deprem verilerine kepstrum işlemi uygulanmadan önce uygun veri-işlemler yapılarak veri iyileştirilmiştir. İyileştirilen deprem verisinin klasik kepstrum sonuçları hesaplanmıştır. Klasik kepstrumlar 3 farklı bölge ve 3 farklı uzunluktaki pencere için bulunmuştur. İstasyonları üç farklı bölgeye ayırmamızın sebebi; eğer istasyonlar birbirlerine yeterince yakın değilse dalgalar arasındaki gecikme farkları da ihmal edilebilir düzeyden büyük olacaktır. Bunun önüne geçebilmek için birbirine yakın kayıt istasyonları bölgeler halinde ayrılarak daha doğru sonuçlar bulunması amaçlanmıştır. Üç farklı uzunlukta pencere kullanılmasının sebebi ise bulunması amaçlanan dalga fazları arasındaki zaman farkının diğer dalga fazlarından etkilenmemesi içindir.

Sonuçta en küçük uzunluktaki pencere boyu için, hesap edilen 1. bölge, 2. bölge, 3. bölge kepstrum sonuçlarında P-pP fazları arasındaki zaman farkını gösteren pikler keskin ve açık bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Bu kepstrum sonuçlarından hesaplanacak kepstral F-istatistikten de bu fazlar arasındaki zaman farkı açık bir şekilde görülmektedir. Pencere boyunun biraz daha büyütülmesiyle P-pP fazları arasındaki zaman farkı dışında P-sP dalga fazları arasındaki zaman farkları da bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla üç bölge için hesap edilen kepstral F-istatistik sonuçlarında P-pP faz farkının yanında P-sP faz farkına karşılık gelen pik değerleri de gözlenmiştir.

Son olarak en büyük pencere boyu için hesaplanan kepstrumla diğer dalga fazları arasındaki zaman farkının bulunması amaçlanmıştır. Elde edilen 3 farklı bölge için kepstrum sonuçlarından amaçlanan diğer dalga fazları gecikmeleri hakkında bilgi edinilememiştir. Sadece P-pP fazları ve P-sP fazları arasındaki zaman farkı gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında bir deprem sonucunda ortaya çıkan ve istasyonlarda kayıt edilen P fazının arasında zamansal olarak gecikme zamanları ve birbirlerine göre olası dalga fazı faz farklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için ilk olarak bir deprem sonrası meydana gelen dalga fazları tanımlanmış ve ilgilenilen fazlara ait bilgiler verilmiştir. Daha sonra kullanılacak olan deprem faz ayırma teknikleri açıklanmıştır. Yapay olarak üretilen modellerde, çeşitli koşullar için bu anlatılan teknikler uygulanarak çözüm yetenekleri araştırılmıştır. En son gerçek veriler üzerinde bu uygulamalar yapılarak çözüm yöntemlerinin yeterlilikleri değerlendirilmiştir.

Elde edilen çalışmalar sonucunda kepstrum yönteminin öz-ilişki ve sspektral sıfırlar yöntemine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Tüm bu uygulamalar sonucunda her üç teknik için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Bir kaynak ve yankısından oluşan toplam dalga için, aralarındaki gecikme zamanları kaynak dalga şeklinin yarısına kadar olan zaman farkları, öz-ilişki fonksiyonuyla rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Dalga şeklinin yarısından küçük gecikme zamanları için iki dalganın oluşturduğu toplam dalganın öz-ilişki fonksiyonunda tek bir dalganın öz-ilişki fonksiyonu gibi gözükmemektedir.
2. Giriştirilecek üç adet sinyal içinde aynı durum geçerlidir. Yani girişen dalgalar arasındaki gecikme zamanı dalga şeklinin yarısından küçükse öz-ilişki fonksiyonu iyi sonuçlar vermez.
3. Kaynak ile yankısı arasında faz farkı olan iki sinyalin öz-ilişki fonksiyonunda da bu faz farkına bağlı olacak şekilde, fonksiyonun şekilsel yapısında bir değişiklik meydana gelmektedir.
4. Gürültülü veriler için; öz-ilişki fonksiyonu sonuçlarından maksimum %20 gürültü içeren veriler için kabul edilebilir çözümler üretildiği, bu orandan daha yüksek gürültü değerlerinde öz-ilişki fonksiyonundan dalgacıklara ait genlikler gürültülerin etkisiyle bastırılmaktadır.
5. İkinci yöntem olarak kullanılan kepstral sıfırlar yöntemiyle iki dalga arasındaki gecikme zamanı, dalga şeklinin $1/5$ 'i kadar olan toplam dalgalar uygun sonuçlar vermektedir.

6. Spektral sıfırlar yönteminin gürültülü veriler için çözebileceği maksimum gürültü oranı %0.05 bulunmuştur. Bu değerden daha yüksek gürültü oranları için çözümler bulunabilir. Fakat tam olarak doğru sonuçlar vermeyebilir.
7. Spektral sıfırlar yöntemi sadece iki adet dalgadan oluşan sinyaller için başarıyla uygulanmaktadır. Fakat ikiden fazla dalgacıktan oluşan toplam dalgalar için çözüm yapılması zorlaşmaktadır.
8. Son yöntem olarak kullanılan kepstrum yöntemi diğer iki yöntemle göre dalga fazları gecikmeleri ve aralarındaki faz farklarının belirlenmesi açısından daha iyi bir yöntemdir. Klasik, Kompleks ve öz-ilişki fonksiyonu olmak üzere 3 farklı yoldan hesaplanan kepstrum sonuçları bu sayede aralarında kıyaslama da sağlamaktadır.
9. İki dalga arasındaki gecikme zamanları kepstrum yöntemiyle minimum dalga şeklinin 1/5'i kadarlık girişime uğramış toplam dalgalar için ayırt edilebilmektedir. Bu orandan daha küçük gecikmeler, çıkan sonuçların büyütülerek bakılmasıyla kaynak fonksiyonuyla etkileşime girmiş bir şekilde belirlenebilir.
10. Kaynak ve yankıları arasında faz farkı olan dalgalar için kepstrum sonuçları etkilenmekte ve dalgalar aralarındaki faz farkına bağlı olarak kepstrum ortamındaki delta fonksiyonlarında distorsiyonlar meydana gelmektedir.
11. Kepstrum sonuçları için, kaynak ve yankısı eğer farklı merkez frekanslarına sahip iseler yani dalga şekilleri hafifçe değiştirilmiş olmaları durumunda kepstrum sonuçlarındaki delta fonksiyonları üzerinde büyük etkiler olduğu görülmüştür. İki dalgacığa ait merkez frekanslarındaki farklar çok küçük olsa dahi kepstrum sonuçları üzerine etkileri çok fazla olmaktadır.
12. Beyaz ve renkli gürültü olarak isimlendirilen iki farklı gürültü türü için elde edilen kepstrum sonuçlarından, gürültü içeriği %0.05'kadar beyaz ve renkli gürültülü veriler için çözümler sağlanabilmektedir. Bu orandan yüksek gürültülü veriler için kepstrum ortamındaki gecikme zamanlarına denk gelen delta fonksiyonları gürültüler yüzünden ayırt edilememektedir.
13. Kepstrum sonuçlarını daha belirgin bir hale getirmek amacıyla ağırlıklandırma yapılması, pikleri daha görünür bir hale getirmektedir. Düzgün olarak ağırlıklandırma yapılmamış verilerde (özellikle gürültü içeriği yüksek olan) yalancı piklerin etkisi büyütülebilir ve gerçek pikler daha da görünmez hale gelebilir.
14. Kaynak fonksiyonunun elde edilmesi amacıyla kepstrum ortamında yapılacak olan filtreleme işlemlerinden en başarılısı tarak fonksiyonuyla filtrelemedir. Alçak geçişli

filtrelemede ilk yankıdan itibaren fonksiyon sıfırlandığı için kaynak etkileri de giderilebilir.

15. Zaman ortamında pencereleme yapılması kepstrum sonuçlarını etkilemektedir. İstenilen fazları içeren toplam dalga iyi pencerelenemediği zaman kepstrum üzerinde yalancı delta fonksiyonları gözlenmektedir. Yankının dalga şeklini içerecek şekilde pencere yapılmalıdır.

16. Kepstrum sonuçlarını daha belirgin bir hale getirmek için uygulanan kepstral F-istatistik gayet başarılı sonuçlar vermiştir. Gürültü, faz, vb. etkilerden dolayı kepstrum ortamında ayrılamayan delta fonksiyonları kepstral F-istatistik uygulamasıyla daha tutarlı ve belirgin bir hale gelmiştir.

17. Kepstral F-istatistiğin gürültülü veriler üzerinde daha iyi sonuçlar vermesi için pencereleme ve filtreleme işlemleri yapılarak kepstral F-istatistik üzerinde gürültülerin etkisi azaltılmalıdır.

18. Gerçek veriler üzerinde yapılan çalışmalar için kepstrum ve öz-ilişki fonksiyonu uygulamalarına geçilmeden önceki veri-işlem aşamaları sonuçların doğruluğu açısından çok önemlidir.

19. Yapılan çalışmalar sonucunda kepstrum yönteminin öz-ilişki yöntemine göre daha kesin bilgiler verdiği görülmüştür. Öz-ilişki yöntemi kepstrum yöntemini destekleyici olarak kullanılarak daha çok faz farklarının belirlenmesi amacıyla kullanılmalıdır.

20. Kepstrum sonuçları üzerine uygulanan kepstral F-istatistik yöntemi için verilerin birbirlerine yakın istasyonların oluşturacağı bir sismograf ağı tarafından kayıt edilmesi gereklidir. Düzgün bir şekilde kayıt edilmiş veriler için kepstrum F-istatistik başarılı sonuçlar vermektedir.

21. Genel olarak dalga fazları arasındaki gecikme zamanı ve faz farklarının bulunmasında kullanılan üç yöntem için, ilk olarak bu yöntemlerin çözüm yetenekleri ve nelere duyarlı oldukları bilinirse karşılaşılan sorunların çözülmesi daha kolay olacaktır.

6. ÖNERİLER

Sismolojide kayıt edilen deprem verisinin tanınması ve hangi tür dalgaların ne anlama geldiğinin bilinmesi çok önemlidir. Bir depreme ait çoğu bilgi bu kayıtlar üzerindeki deprem fazlarının özelliklerine bağlı olarak elde edilmektedir. Sinyallerin özellikleri hakkında bilgi edinilebilmesi için sinyallerin birbirlerinden ayrılması gerekmektedir. Bu amaçla bu tezde kullanılan üç farklı tekniğin birbirlerine göre ayrı ayrı üstünlükleri vardır.

Spektral sıfırlar yöntemi bu tezde en az uygulanan yöntemdir. Yapay veriler üzerinde yeterince uygulanmasına rağmen gerçek veriler üzerinde uygulanmamıştır. Bunun en büyük sebebi, bir deprem kaydının frekans ortamındaki görünümünün karmaşıklığıdır. Bir deprem sonrası kayıt istasyonuna farklı frekans içeriğine sahip çok fazla sinyal geldiği için bunların kepsral sıfırlar yöntemiyle ayrılarak aranılan fazların gecikme zamanlarının bulunması zordur. Ayrıca kepsral sıfırlar yöntemi algoritmadan ötürü ikiden fazla sinyal için kullanılması zorlaşmaktadır. Bu sebeple bu yöntem daha basit yapıları sinyallerin ayrılması amaçlı kullanılmalıdır.

Öz-ilişki yöntemi kepsral sıfırlar yöntemine göre daha kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemle hem iki sinyal arasındaki zaman farkı belirlenebilir, hem de sinyaller arasındaki faz farklarına ait bilgiler de elde edilebilir. Bu yöntem gecikme zamanı küçük olan sinyaller için uygundur. Öz-ilişki yöntemi, iki sinyal arasındaki faz farklarına ait bilginin bulunması amacıyla daha çok çalışılabilir.

Kepstrum yöntemi de, iki sinyal arasındaki gecikme zamanları ve faz farklarının bulunması amacıyla kullanılan bir yöntemdir. İki dalga fazı arasındaki gecikme zamanlarının belirlenmesi için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Fakat çok hassas bir yöntem olduğu için gürültü vb. etkilerden çok fazla etkilenmektedir. Faz farklarının bulunması için kepsrum ortamındaki delta fonksiyonları aynı öz-ilişki fonksiyonundan çıkan sonuçlar gibi modellenerek farklı durumlar için sonuçlar çıkartılabilir. Kepsral F-istatistik kepsrum sonuçlarının belirginleştirilmesi için kullanışlı bir yöntemdir. Kepstrum çalışmaları daha basit sinyal toplamlarında çok daha iyi sonuçlar verebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Udias, A., Principles of Seismology, Printed in the United Kingdom at the Universty Pres, Cambridge,1999.
2. Canitez, N. ,Jeofizikte Veri-İşlem (Cilt 1), İ.T.Ü. Maatbası, İstanbul,1984.
3. Kulhanek, O., Anatomy of Seismograms, Seismological Section, University of Uppsala, Sweden, 1990.
4. Flinn,E.A., Cohen,T., J., Mc. Cowan, D., W., Detection and analysis of multiple seismic events. Bull. Seism. Soc. Am., 63 (1973) 1921-1936.
5. Plant, W., L., Knopoff, L., Observations of multiple seismic events. Bull. Seism. Soc. Am., 54 (1964) 19-39.
6. Poisson, S. D. Sur la distrubution de la chaleur Dans Les Corps Solides, J. Ec. R. Polytech, Ser. I 19 (1823), 1-62.
7. Schwarz, H.A. Zur Integration der partiellen Differentialgleichung. J. Reine Angewandte Math. (1872) 218-254.
8. Szegö, G. Ein granzqwerstsatz über die Toeplitzschen determinanten einer reelen pozitiven function, Math. Ann., 76 (1915) 490-503.
9. Kolmogorov, A. N. Sur L' interpolation et axtrapolation des suites stationnaires, C.R. Acad. Sei. Paris 1939.
10. Silvia, M.T., Robinson, E. A. Use of the cepstrum in signal analysis, Geoexplorations, 16 (1978) 55-78.
11. Robinson, E. A. Predictive decomposition of time series with applications to seismic exploration, Ph. D. Thesis. M.I.T Cambridge, Mass. Also, in Geophysics, 32 (1954) 418-484.
12. Bogert, B.P., Healy, M.J., Tukey, J.W. The Quefreny Analysis for Echoes: Cepstrum, Pseudo-Autocoveriance, Cross-Cepstrum, and Saphe cracking. In: Proceeding of the symposium on Time Series Analysis. M. Rosenblatt (Editor), John Wily and sons Inc., 1963, New York, 209-243.
13. Bogert, B. P., Ossanna, J. F. The Heurictics of a stationary Gaussian noise, IEEE Trans. Inf. Theory, 12 (1966) 373-380.
14. Oppenheim, A. V., Schafer R. W. Digital signal processing, Prentice-Hall, Inc. New York, 1975.

15. Tribolet, J. M. Application of short-time homomorphic signal analysis to seismic wavelet estimation, Geoexploration, 16 (1978) 25-96.
16. Kemerait, R. C., Signal Detection and Extraction by Cepstrum Techniques, Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida- U.S.A. (1971).
17. Kemerait, R. C. and Childers, D. G. Signal Detection and extraction by cepstrum technique, IEEE Trans. Inform. Theory, IT-18 (1972) 745-759.
18. Kemerait, R. C. and Sutton, A. F. A multidimensional approach to seismic event depth estimation, Geoexploration, 20 (1982) 113-130.
19. Cohen, T. J. Source-Depth determination using spectral pseudoautocorrelation and Cepstral analysis, Geophys. Roy. Ast. Soc., 20 (1970) 223-231.
20. Schafer, R.W. Echo removal by discrete generalized linear filtering, Tech Report. No.446, M.I.T. Res. Lab. Of Elect. 1969.
21. Stoffa, P., Buhl, P., Bryan, G. M. The applications of homomorphic deconvolution to shallow water marine seismology, Geophysics, 39 (1974) 401-416.
22. Tribolet, J. M. A new phase unwrapping algorithm, IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Processing, ASSP-25 (1977) 176-177.
23. Oppenheim, A. V. Superposition in a class of nonlinear System, Technical Report, 432, M.I.T. Res. Labs., 62, 1965.
24. Saika, C. K., Helmberger, D. V. Approximation of rupture directivity in regional phases using upgoing and downgoing wave fields, Bull. Seism. Soc. Am., 87 (1997) 987-998.
25. Goldstein, P. and Dodge, D., Depth and mechanism estimation using waveform modeling, in Processing of the 20th Annual Seismic Research Symposium on Monitoring a Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT), 1998, 238-247.
26. Murphy, J. R., Cook, R. W., Rodi, W. L. Improved focal depth determination for use in CTBT monitoring, in Processing of the 20th Annual Seismic Research Symposium on Monitoring a Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, 1999, 50-55.
27. Woodgold, C. R. D. Wide-aperture beamforming of depth phases by timescale contraction, Bull. Seism. Soc. Am., 89 (1999) 165-177.
28. Alexander, S. S. A new method for determining source depth from a single regional station, Seismic Res. Lett., 67 (1996).
29. Baumgardt, D.R., Ziegler, K. A., Spectral evidence for source multiplicity in explosions: application to regional discrimination of earthquakes and explosions. Bull. Seism. Soc. Am., 78 (1988) 1773-1795.

30. Bennett, T. J., Barker, B. W., McLaughlin, K. L., Murphy, J. R. Regional discrimination of quarry blasts, earthquakes and underground nuclear explosions, Final report GL-TR-89-0114, Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base, MA. (1989).
31. Shumway, R. H., Baumgardt, D. R., Der, Z. A., A cepstral F-statistic for detecting delay-fired seismic signals, Technometrics, 40 (1998) 100-110.
32. Childers, B., Durling, A., Digital Filtering and Signal Processing, West Publishing Company, Boston, 1977.
33. Bonner, J., L., Reiter, D., T., Shumway, R., H., Application of Cepstral F statistic for improved Depth Estimation, Reprinted from Bulletin of the Seismology Cal. Society of America, 92 (2002) 1675-1693.
34. Alexander, S. S., Hsu, R. C., Karl, S. L., Gupta, I. N., Salzberg, D. H., New techniques for estimating source depth and other diagnostic source characteristics of shallow events from regional observations of P, Lg, and Rg signals, report No: PL-TR-95-2108, Philips Laboratory, Directorate of Geophysics, Air Force Materiel Command, Hanscom AFB, MA 01731-3010 ADA 310037, 1995.
35. Farnbach, J. S. The complex envelope in seismic signal analysis. Bull. Seism. Soc. Am., 65 (4) (1975) 951-962.
36. Kara, V., Alptekin, Ö., Homomorfik dekonvolüsyon yöntemi ile sismik izlerin çözümlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 1986.
37. Gökalp, H., Spektral Analiz Yöntemleri ile Dalga Fazlarının Ayrımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1989.
38. Bonner, J., Reiter, D. And Shumway, B., Depth Determination For Telesismic Events Using Cepstral Analysis, Western Geophysical Corporation, Scientific Report 2, 2000.
39. Ezen, Ü., Girişime Uğramış Yapay ve Gözlemsel Dispersif Dalgalarda Gecikme Zamanının Saptanması, Deprem Araştırma Bülteni, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Matbaası, Ankara, sayı 43, 1983, 5-41.
40. URL-1 <http://www.iris.edu/> Incorporated Research Institutions for Seismology. 09.09.2005.
41. URL-2 <http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/widmer/IASP91/iasp91.html> Travel times of teleseismic body waves through earth model iasp91. 01.02.2006.
42. URL-3 <http://earth.google.com/> Google Earth – Explore, Search and Discover. 04.02.2006

8. EKLER

EK 1. Bir Kaynak ve İki Yankısından Oluşan Toplam Dalgalar İçin Kompleks Kepstrum Hesabı

Bir kaynak ve onun iki adet yankısından oluşan kompozit bir dalga formu aşağıda verilen özelliklere bağlı olarak oluşturulmuştur.

Kaynak fonksiyonu; genlik (a)=1, frekans (f)=1, faz kayması(θ)=0,

1.Yankı fonksiyonu; genlik (a_0)=0.5, frekans (f_0)=1, faz kayması(θ_0)=0, gecikme(t_0)=5sn

2.Yankı fonksiyonu; genlik (a_1)=0.3, frekans (f_1)=1, faz kayması(θ_1)=0, gecikme(t_1)=8sn

Yukarıdaki verilere bağlı olarak 3 bileşenli kompozit dalga formülasyonu aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$z(t) = y(t) + a_0 y(t - t_0) + a_1 y(t - t_1)$$

ve bu fonksiyonun fourier transformu ise

$$Z(w) = Y(w)(1 + a_0 e^{-jw t_0} + a_1 e^{-jw t_1})$$

gibidir. Fourier dönüşümü alındıktan sonra kompleks logaritması alınarak,

$$\log[Z(w)] = \log[Y(w) + \log(1 + a_0 e^{-jw t_0} + a_1 e^{-jw t_1})]$$

ve

$$\left| (1 + a_0 e^{-jw t_0} + a_1 e^{-jw t_1}) \right| < 1$$

kabulü yapıldıktan sonra,

EK 1'in devamı

$$\log[Z(w)] = \log[Y(w)] + a_0 e^{-jw t_0} + a_1 e^{-jw t_1} - (a_0^2 / 2) e^{-j2w t_0} - a_0 a_1 e^{-j(t_0+t_1)w} - (a_1^2 / 2) e^{-j2w t_1} + \dots$$

elde edilebilir. Elde edilen son eşitliğin ters fourier dönüşümü alınırsa,

$$F^{-1}\{\log[Z(w)]\} = F^{-1}\{\log[Y(w)]\} + a_0 \delta(t - t_0) + a_1 \delta(t - t_1) - (a_0^2 / 2) \delta(t - 2t_0) - a_0 a_1 \delta[t - (t_0 + t_1)] - (a_1^2 / 2) \delta(t - 2t_1) + \dots$$

elde edilir.

Yukarıdaki formülü biraz daha açarak ve genlik değerlerini;

$$x=0.5$$

$$y=0.3$$

ve gecikme zamanları;

$$t_0=5 \text{ sn}$$

$$t_1=8 \text{ sn}$$

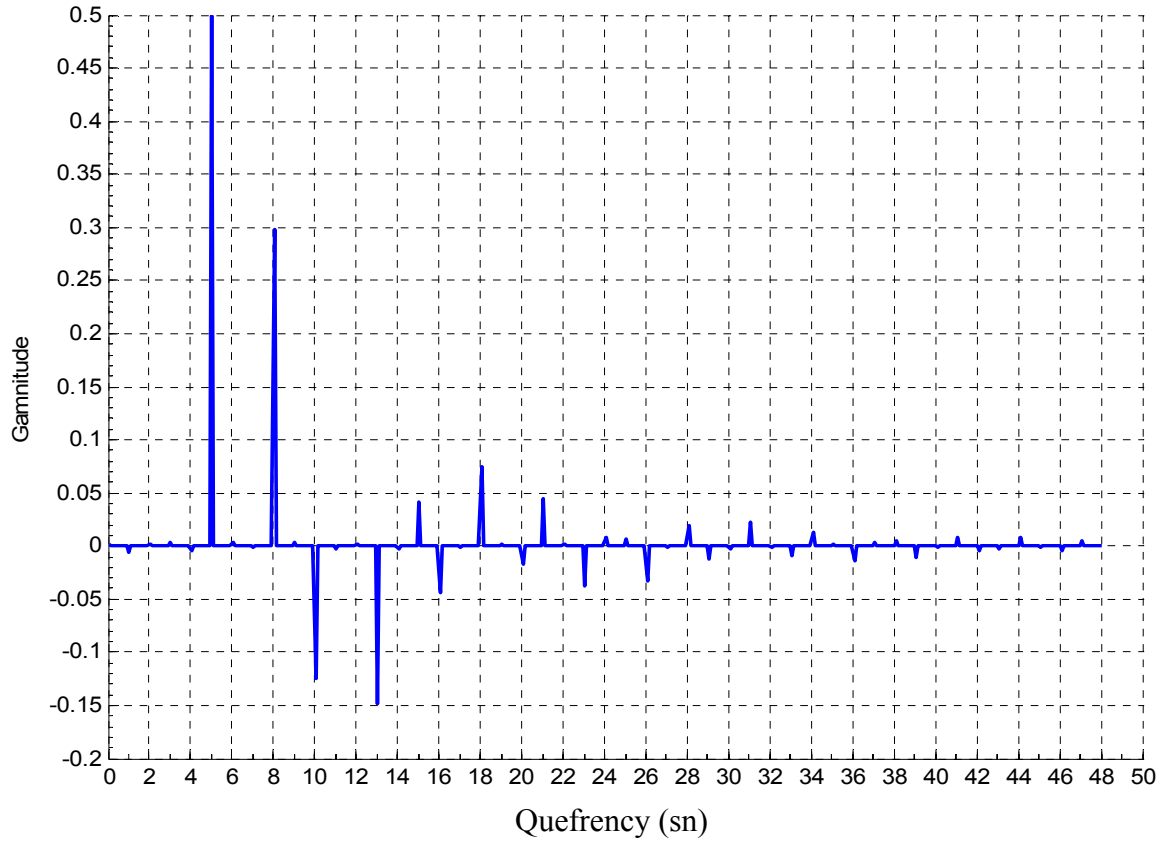
olacak şekilde formülde belirtilen değerleri yerine koyarak, çıkacak sonuç çizdirilmiştir.

$$x(t-t_0)+y(t-t_1)-x^2/2(t-2t_0)-xy(t-(t_0+t_1))-y^2/2(t-2t_1)+x^3/3(t-3t_0)+x^2y(t-(2t_0+t_1))+y^2x(t-(2t_1+t_0))+y^3/3(t-3t_1)-x^4/4(t-4t_0)-x^3y(t-(3t_0+t_1))-y^3x(t-(3t_1+t_0))-x^2y^2(t-(2t_1+2t_0))+x^4/4(t-4t_0)+\dots$$

sayısal değerler yerine koyulacak olursa,

$$0.5(5\text{sn})+0.3(8\text{sn})-0.125(10\text{sn})-0.15(13\text{sn})-0.045(16\text{sn})+0.042(15\text{sn}) + 0.075(18\text{sn}) \\ +0.045(21\text{sn}) + 0.009(24\text{sn})-0.0156(20\text{sn})-0.0375(23\text{sn})-0.0135(29\text{sn})-0.0225(26\text{sn}) \\ +0.0156(24\text{sn})\dots$$

3 bileşenli fonksiyonun yankılarının değişimi



ÖZGEÇMİŞ

09.03.1981 SİNOP/Gerze'de doğdu. İlk ve ortaokulu Sarıyer ve Yaykıl ilköğretim okullarında okudu. Liseyi Gerze lisesinde tamamladıktan sonra, 1998–1999 Eğitim-Öğretim yılında girmiş olduğu ÖSYM sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2001-2002 yılında Jeofizik Mühendisliği bölümünden Bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2004 yılında Jeofizik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Lisans öğrenimi boyunca TPAO Ozan SUNGURLU Vakfı bursunu aldı. Halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmakta olup, Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.