

**T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME PROGRAMI
DOKTORA TEZİ**

**HHT ANALİZİNE İLİŞKİN YENİ YAKLAŞIMLAR:
SERMAYE PİYASASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Erdost TORUN

Danışmanlar

Prof. Dr. Adnan KASMAN

Prof. Dr. Norden E. HUANG

İZMİR – 2012

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “**HHT Analizine İlişkin Yeni Yaklaşımlar: Sermaye Piyasası Üzerine Bir Uygulama**” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

...../...../.....

Erdost TORUN

ÖZET

Doktora Tezi

HHT Analizine İlişkin Yeni Yaklaşımlar: Sermaye Piyasası Üzerine Bir

Uygulama

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Yönetimi Anabilim Dalı

İşletme Programı

Finansal veri analizinin finansal ekonomi alanında önemli bir yeri olmasına rağmen var olan istatistiksel yöntemler hisse senedi fiyat endekslerini analiz etme konusunda yetersiz kalmışlardır. Bunun temel nedeni, finansal fiyat serilerinin durağan ve doğrusal olmamalarıdır. Dolayısıyla, geçmişte finansal veri analizine ilişkin literatür temel olarak fiyat serileri yerine getiri serilerinin analizine odaklanmıştır.

Bu çalışma, S&P 500 ve İMKB 100 fiyat endekslerinin sahip olduğu dinamikleri 1991 - 2011 dönemi için incelemektedir. Çalışmada çağdaş frekans - zaman analizi yöntemlerinden olan Hilbert Huang Dönüşümü (HHT) kullanılmıştır. HHT yöntemi özellikle doğrusal ve durağan olmayan verilerin analiz edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak karmaşık nitelikli veri setini yerel karakteristik zaman skalası yardımıyla İçsel Salınım Fonksiyonu (IMF) olarak adlandırılan bileşenlerine ayırmaktadır. Bu nedenle, yöntem uyarlanabilir niteliktedir ve doğrusal ya da durağan olmayan verilerde kullanılabilir. Daha sonra IMF Hilbert dönüşümüne tabi tutularak anlık frekans ve enerji değerleri elde edilir. Anlık frekans ve enerji fiyat serisinde meydana gelen değişimlerin hızı ve şiddetini ifade etmektedir. Veriye ilişkin frekans - enerji yapısı, önemli frekans ya da enerji değişimlerine sebep olan olay örüntüsüne ilişkin zaman çizelgesini ifade etmektedir. Dolayısıyla, hisse senedi

piyasa hareketlerine sebep olan olayların tespiti, piyasaya ait dinamiklerin arkasındaki güdülere ışık tutabilir.

Bu çalışmada, hisse senedi piyasa fiyat endekslerinin sahip olduğu özellikler temel alınarak HHT analizinde bazı geliştirilmeler yapılmıştır. Fiyat endeksleri genel olarak üstel artış eğilimi, ani fiyat değişimleri ve fiyat değişiminin çok düşük gerçekleştiği dönemsel yatay seyirler içermektedir. Söz konusu özellikler ışığında "Geliştirilmiş EEMD (M-EEMD)", "Direkt EMD Temelli Normalleştirme" ve "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" modelleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda küresel ve yerel nitelikli ekonomik, finansal ve politik olayların hisse senedi piyasalarının enerji ve frekans yapısı üzerinde etkili olduğuna dair bulgular elde edilmiştir. Ayrıca uzun dönemde istikrarlı konjonktürel dalgalanmaların varlığına ilişkin bulgulara da rastlanmıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında HHT yönteminin finansal fiyat serilerinin incelenmesinde yararlı bir araç olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hilbert - Huang Dönüşümü, finansal zaman serileri, spektral analiz, hisse senedi fiyat analizi

ABSTRACT

Doctor of Philosophy (PhD)

New Approaches to the HHT Analysis: An Application to The Stock Market

Erdost TORUN

Dokuz Eylul University

Graduate School of Social Sciences

Department of Business Administration

Management Program

Although financial data analysis has become one of the most critical parts of financial economics, the limitations and assumptions of existing statistical financial analysis methods are incapable of analyzing stock market price series due to nonstationary and nonlinear characteristics of financial price series. Hence, previous literature on financial data analysis has mainly focused on financial return series instead of prices.

This study examines the dynamics of the S&P 500 and ISE 100 stock market price indices for the period 1991 - 2011 using the new frequency - time methods of Hilbert - Huang Transformation (HHT). The HHT method is specially developed for analysing nonstationary and nonlinear data. The method first decomposes complicated data into a Intrinsic Mode Functions (IMF) based on local characteristic time scale of data. This process is adaptive and applicable to nonlinear and nonstationary data. Then Hilbert transformation of IMF gives instantaneous frequency and energy patterns of data. Instantaneous frequency and energy of stock market prices give velocity and strength of price changes. Final frequency - energy representation of data reveals the timeline of events resulting the significant energy or frequency change. Hence, detecting the events triggering the stock market movements enlightens the motivations behind stock market dynamics.

This study also modifies the HHT method using the main properties of price indices, which are exponential growth, occasional price jumps , and having periods with low price changes. In the light of these properties, three models, "Modified EEMD (M-EEMD)", "Direct EMD Based Normalization" and "Nonlinear Iteratively EMD Based Normalization" are used for the financial data analysis. The results of the analyses show that major global and local economic, financial and political events have some effects on frequency and energy characteristics of stock market prices. The results of analyses also indicate evidence in favor of stable long - run cyclical movements in price series. These results reveal that the HHT methods are useful in analysing the financial price series.

Keywords: Hilbert - Huang Transformation, financial time series, spectral analysis, stock market price analysis

HHT ANALİZİNE İLİŞKİN YENİ YAKLAŞIMLAR: SERMAYE PİYASASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xii
TABLOLAR LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
EKLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

HHT ANALİZİNE İLİŞKİN FINANS VE EKONOMİ LİTERATÜRÜ

1.1. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	7
--------------------------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN FREKANS ANALİZİ VE HHT YÖNTEMİ

2.1. ZAMAN FREKANS ANALİZİ.....	12
2.1.1. Veri Analizi ve Durağanlık	12
2.1.2. Veri Analizi ve Veri İşleme Arasındaki İlişki.....	14
2.1.3. Zaman-Frekans Analizi: Temel Kavramlar	15
2.1.4. Durağan olmayan Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler	19
2.2. HHT YÖNTEMİ	22
2.2.1. EMD Yöntemi	22
2.2.1.1. Karakteristik Skala	28
2.2.1.2. Eleme Süreci Parametreleri.....	28
2.2.1.3. Veri Bitiş Etkisi (End Effect).....	31
2.2.2. Hilbert Spektrum.....	32
2.2.2.1. Periyodiklik ve Salınım Karışması.....	35

2.2.2.2. Gürültü ve Anlamlılık Testi	37
2.2.2.3. Dyadik Filtre	40
2.2.3. EEMD Yöntemi	42
2.2.4. M-EEMD Yaklaşımı	45
2.3. HHT ANALİZİ VE BİLEŞEN NORMALLEŞTİRME SÜRECİ	48
2.3.1. Frekans ve Analitik Sinyal	48
2.3.2. Bedrosian ve Nuttall Teoremleri	50
2.3.3. Ampirik AM-FM Ayrıştırma Süreci: Normalleştirme Süreci.....	52
2.3.4. Doğrudan Dikgen Yöntemi	54
2.3.5. Genelleştirilmiş Sıfır - Geçiş Yöntemi.....	57
2.4. MODERN ANLIK FREKANS KAVRAMI.....	58
2.4.1. Klasik Frekans Yaklaşımı: Sabit Frekans	59
2.4.2. Modern Frekans Yaklaşımı: Anlık Frekans	62
2.5. HHT ANALİZİ VE MODERN KORELASYON YAKLAŞIMI: TDIC.....	68
2.5.1. KORELASYON KAVRAMI VE KORELASYON KAVRAMINA İLİŞKİN SORUNLAR.....	68
2.5.1.1. Çok Bileşenli Veriler Arasındaki Korelasyon.....	70
2.5.1.2. Zamana Bağlı Değişen Skalalı Veriler Arasındaki Korelasyon.....	72
2.5.1.3. Aynı Skalalı Veriler Arasındaki Zamana Bağlı Değişen Korelasyon	73
2.5.2 Modern Korelasyon Yaklaşımı: TDIC.....	74
2.6. HHT VE FİNANSAL VERİ ANALİZİ.....	76
2.6.1. HHT Analizi ile Doğrusal Olmayan Trend Analizi	76
2.6.1.1 Finansal Fiyat ve Getiri.....	76
2.6.1.2. HHT Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Filtreleme İşlem ve Trend Kavramı.....	77
2.6.1.2.1. EMD ve Filtreleme İşlemi.....	77
2.6.1.2.2. EMD ve Trend Analizi.....	78
2.6.1.2.2.1. Trend Tanımları	79
2.6.1.2.2.1.1. Dışsal ve Önceden Tanımlanmış Trend	79
2.6.1.2.2.1.2. İçsel ve Uyarlanabilir Trend.....	80

2.6.2. Finans ve Ekonomi Verileri Analizinde Modern Yaklaşım: EMD Temelli Normalleştirme.....	81
2.6.2.1. Normalleştirme Süreci	82
2.6.2.2. Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme	83
2.6.2.3. Direkt EMD Temelli Normalleştirme	85

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HHT ANALİZ SONUÇLARI

3.1. ANLAMLILIK TESTİ SONUÇLARI.....	89
3.2. S&P 500 ENDEKSİNE İLİŞKİN HHT ANALİZ SONUÇLARI	91
3.2.1. IMF Bileşenlerine Ait Analiz Sonuçları	91
3.2.1.1. Model1 Sonuçları.....	92
3.2.1.2. Model2 Sonuçları.....	99
3.2.2. Trend Analiz Sonuçları	105
3.2.3. Genel Spektral Analiz Sonuçları.....	108
3.2.4. Detaylı Spektral Analiz Sonuçları.....	111
3.2.4.1. Model1 Sonuçları.....	111
3.2.4.2. Model2 Sonuçları.....	121
3.3. İMKB 100 ENDEKSİNE İLİŞKİN HHT ANALİZ SONUÇLARI	130
3.3.1. IMF Bileşenlerine Ait Analiz Sonuçları	130
3.3.1.1. Model1 Sonuçları.....	131
3.3.1.2. Model2 Sonuçları.....	137
3.3.2. Trend Analiz Sonuçları	143
3.3.3. Genel Spektral Analiz Sonuçları.....	145
3.3.4. Detaylı Spektral Analiz Sonuçları.....	149
3.3.4.1. Model1 Sonuçları.....	149
3.3.4.2. Model2 Sonuçları.....	158
3.4. SPEKTRAL ANALİZE İLİŞKİN TEKNİK VE EKONOMİK DEĞERLENDİRME.....	167
3.4.1. S&P 500 Endeksi	167
3.4.2. İMKB 100 Endeksi	176
3.5. TDIC SONUÇLARI	186

3.5.1. Model1 Sonuçları	186
3.5.2. Model2 Sonuçları	199
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	211
KAYNAKÇA	218
EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABA	Ana Bileşen Analizi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AM	Genlik Modülasyonu
AOI	All Ordinaries Index
CEEMD	Tamamlayıcı - EEMD
DJIA	Dow Jones Industrial Average endeksi
DQ	Doğrudan Dikgen Yöntemi
EEMD	Grupsal EMD
EMD	Ampirik Salınım Ayrıştırma Yöntemi
FM	Frekans Modülasyonu
GZC	Genelleştirilmiş Sıfır - Geçiş Yöntemi
HHT	Hilbert Huang Dönüşümü
I.I.D	Bağımsız ve Özdeşçe dağılmış
IMF	İçsel Salınım Fonksiyonu
İMKB 100	İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Ulusal 100 endeksi
M-EEMD	Geliştirilmiş - EEMD
NASDAQ	National Association of Securities Dealers Automated Quotation endeksi
NHT	Normalleştirilmiş Hilbert Dönüşümü
NIFTY	National Stock Exchange Fifty endeksi
S&P 500	Standard & Poor's 500 endeksi
TDIC	Zamana Başlı İçsel Korelasyon
WTI	West Texas Intermediate tipi petrol
WVD	Wigner-Ville Dağılımı

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1 Enerji Seviyesi Genel Eğilimleri - S&P 500 Endeksi.....	s.171
Tablo 2. Frekans Seviyesi Genel Eğilimleri - S&P 500 Endeksi.....	s.173
Tablo 3 Enerji Zirveleri - S&P 500 Endeksi.....	s.174
Tablo 4 Frekans Zirveleri - S&P 500 Endeksi.....	s.175
Tablo 5. Enerji Seviyesi Genel Eğilimleri - İMKB 100 Endeksi.....	s.181
Tablo 6 Frekans Seviyesi Genel Eğilimleri - İMKB 100 Endeksi.....	s.183
Tablo 7 Enerji Zirveleri - İMKB 100 Endeksi.....	s.184
Tablo 8 Enerji Zirveleri - İMKB 100 Endeksi.....	s.185

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Çok Bileşenli Yapay Seriler	s.71
Şekil 2: Sabit ve Değişen Frekanslı Kosinüs Dalgaları	s.72
Şekil 3: Dalga Yapısı Sabit ve Değişken Olan Kosinüs Dalgaları.....	s.73
Şekil 4: Anlamlılık Testi Sonuçları.....	s.90
Şekil 5: S&P 500 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model1	s.96
Şekil 6: S&P 500 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model2.....	s.103
Şekil 7: S&P 500 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model1	s.106
Şekil 8: S&P 500 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model2	s.107
Şekil 9: S&P 500 Endeksine İlişkin Genel Spektrum Sonuçları - Tüm Modeller.....	s.110
Şekil 10: S&P 500 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model1	s.118
Şekil 11: S&P 500 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model2	s.127
Şekil 12: İMKB 100 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model1	s.134
Şekil 13: İMKB 100 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model2.....	s.140
Şekil 14: İMKB 100 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model1	s.143
Şekil 15: İMKB 100 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model2	s.144
Şekil 16: İMKB 100 Endeksine İlişkin Genel Spektrum Sonuçları - Tüm Modeller.....	s.148
Şekil 17: İMKB 100 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model1	s.155
Şekil 18: İMKB 100 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model2	s.164
Şekil 19 : TDIC Pearson Katsayıları - Model1	s.196
Şekil 20: TDIC Pearson Katsayıları - Model2	s.208

EKLER LİSTESİ

EK 1. Anlamlılık Testi Sonuçları: Model3	ek s. 1
EK 2 IMF Bileşenlerinin Analiz Sonuçları - Model3: S&P500 Endeksi	ek s. 2
EK 3 IMF Seti - Model3: S&P 500 Endeksi.....	ek s. 6
EK 4 Trend Bileşenlerinin Analiz Sonuçları - Model3: S&P 500 Endeksi	ek s. 9
EK 5 Genel Spektrum Sonuçları - Model3: S&P 500 Endeksi.....	ek s. 10
EK 6 Genel Spektrum Grafiği - Model3: S&P500 Endeksi	ek s. 11
EK 7 Detaylı Spektrum Sonuçları - Model3: S&P500 Endeksi	ek s. 12
EK 8 NHT Spektrum Grafikleri - Model3: S&P500 Endeksi.....	ek s. 18
EK 9 IMF Bileşenlerinin Analiz Sonuçları - Model3: S&P500 Endeksi	ek s. 21
EK 10 IMF Seti - Model3: İMKB100 Endeksi.....	ek s. 24
EK 11 Trend Bileşenlerinin Analiz Sonuçları - Model3: İMKB100 Endeksi ...	ek s. 27
EK 12 Genel Spektrum Sonuçları - Model3: İMKB100 Endeksi.....	ek s. 28
EK 13 Genel Spektrum Grafiği - Model3: İMKB100 Endeksi.....	ek s. 29
EK 14 Detaylı Spektrum Sonuçları - Model3: İMKB100 Endeksi.....	ek s. 30
EK 15 NHT Spektrum Grafikleri - Model3: İMKB100 Endeksi	ek s. 34
EK 16 TDIC Sonuçları: Model3	ek s. 36
EK 17 TDIC Pearson Katsayıları - Model3	ek s. 44
EK 18 S&P 500 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model1.....	ek s. 47
EK 19 S&P 500 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model2.....	ek s. 50
EK 20 S&P 500 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model3.....	ek s. 53
EK 21 S&P 500 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model1	ek s. 56
EK 22 S&P 500 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model2	ek s. 59
EK 23 S&P 500 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model3	ek s. 62
EK 24 İMKB 100 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model1.....	ek s. 65
EK 25 İMKB 100 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model2.....	ek s. 68
EK 26 İMKB 100 Endeksine İlişkin DQ Spektrum Sonuçları - Model3.....	ek s. 71
EK 27 İMKB 100 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model1	ek s. 73
EK 28 İMKB 100 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model2	ek s. 76
EK 29 İMKB 100 Endeksine İlişkin GZC Spektrum Sonuçları - Model3	ek s. 79
EK 30 TDIC Spearman Katsayıları - Model1	ek s. 81

EK 31 TDIC Spearman Katsayıları - Model2.....	ek s. 84
EK 32 TDIC Spearman Katsayıları - Model3.....	ek s. 87
EK 33 Sözlük	ek s. 90

GİRİŞ

Finansal piyasalara ilişkin endeksler günümüzde ekonomik istikrarın en önemli ve hassas göstergeleri haline gelmiştir. Ayrıca, finansal küreselleşme süreci nedeniyle finansal piyasalar birbirlerinden hızla etkilenir hale gelerek ekonominin yerel dinamikleri yanında dışsal etkilere karşı daha açık hale gelmişlerdir. Finansal piyasalarda, özellikle de menkul kıymetler piyasalarında, meydana gelen dalgalanmaların reel ekonomileri krize sürüklediği ve ülkelerde sosyo - ekonomik değişimlere neden oldukları reddedilemez bir gerçektir. Bu bağlamda finansal piyasalardaki dalgalanmaların analiz edilmesi ve dalgalanmaların birbirleriyle olan ilişkilerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi yatırımcı ve politika yapıcılar için zorunluluk halini almıştır.

Finansal piyasaların karmaşık dinamiklere sahip oldukları bilinen bir gerçektir. Söz konusu dinamikler farklı motivasyona sahip birçok yatırımcının piyasalarda işlem yapmasıyla oluşmakta ve fiyat oluşumunu oldukça karmaşık bir süreç haline getirmektedir. Kısa vadeli spekülasyon amacıyla işlem yapan yatırımcılar ile uzun vadeli işlem yapan yatırımcıların karşılaştığı piyasalar, finansal küreselleşme ile tüm dünyadaki yatırımcıların kolay ve hızla yatırım yaptıkları piyasalar haline gelmiştir. Bunun sonucunda, küreselleşme süreci finansal piyasaları dış etkilere açık hale getirerek finansal varlıkların fiyat oluşumunu oldukça karmaşık hale getirmiştir. Dolayısıyla, finansal piyasalar makro ekonomik gelişme ve diğer piyasalara ilişkin bilgilerden etkilenmektedir. Sonuç olarak farklı yatırım profiline sahip ulusal ve uluslar arası yatırımcılar ile finansal entegrasyon olgusu sonucunda ortaya çıkan bilgi akışı, finansal piyasalarda dinamikler meydana getirerek finansal varlık fiyatlarının oluşmasında etkili olmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, hisse senedi piyasalarının sahip olduğu ve fiyat oluşumunda etkili olan dinamiklerin ve doğrusal olmayan trendin ayrıştırılmasıyla hisse senedi piyasası işleyişini anlaşılabilir hale getiren teorik ve uygulamalı bir çalışma ortaya koymaktır. Böylece, hisse senedi piyasalarının karmaşık yapısına ışık tutmak hedeflenmektedir.

Finansal varlıklara ilişkin fiyat oluşum sürecinin incelenmesi karmaşık ve güncel yöntemlerin kullanılmasını zorunlu kılmakta; zaman boyutuna ek olarak fiyat serisinin dinamiklerini ortaya çıkaracak diğer boyutlarda analiz yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla, fiyat serisinin sahip olduğu döngülerle ilgili faydalı bilgiler elde etmek amacıyla veri frekans boyutunda incelenmelidir. Veri analizi açısından iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar zaman - boyut ve frekans - boyut analizleridir. Ekonomi ve finans biliminde genel olarak zaman - boyut analizleri kullanılmakla birlikte frekans - boyut analizleri ekonomi dışındaki alanlarda özellikle de doğa bilimleri ve medikal alanlarda geliştirilerek kullanılmaktadır. Frekans - boyut analizleri genel olarak spektral analiz olarak adlandırılmaktadır. Spektral analiz, periyodik bir fonksiyonu, sinüs ve kosinüs olarak adlandırılan basit salınım fonksiyonlarına ayrıştırmakta; sonrasında söz konusu fonksiyonların frekansını tahmin etmektedir. Dolayısıyla, spektral analiz harmonik fonksiyonların sonsuz serilerinin toplamı olarak tanımlanabilir. Klasik zaman - boyut ya da frekans - boyut analizleri oldukça katı varsayımlar kullanmaktadır. Bu varsayımlardan veri analizini en fazla kısıtlayıcı ise veri setlerinin durağan ve/veya doğrusal olduğudur. Ancak doğa bilimlerine ve sosyal bilimlere ait veriler ne durağan ne de doğrusal özellik göstermektedir. Spektral analiz, doğrusal ve durağan olmayan serilerde anlamlı sonuç vermemekte; olasılık teorilerine dayanan zaman serisi analizleri ise durağan olmayan serilere uygulanması özellikle elde edilen sonuçların doğruluğu açısından sorunlu olmaktadır. Fiyat serilerinin farkı alınarak getiri serisi haline dönüştürülmesi veri setini durağan hale getirmekle birlikte veri setinin içerdiği trendi yok ederek finansal oyuncular için önemli bilgiyi ortadan kaldırmakta ve fiyat serisinin analizini imkansız hale getirmektedir. Dolayısıyla, doğrusallık ve durağanlık varsayımları serinin doğasının, diğer bir deyişle kısa ve uzun dönemli döngüler ve trendin, analiz edilmesini olumsuz etkilemektedir.

Tezin amacı doğrultusunda Huang ve diğerleri (1998), Huang ve Wu (2008), Wu ve Huang (2009) tarafından geliştirilen "Hilbert - Huang Dönüşümü" (Hilbert - Huang Transformation - HHT) yöntemi, finansal verilere ilişkin bileşenlerin ayrıştırılarak enerji ve anlık frekans değerlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada HHT analizinin etkinliğini artırmak amacıyla finansal

verilerin özelliklerini dikkate alan yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın temel katkısı, HHT analizinin finans alanında uygulanması amacıyla yeni yaklaşımlar öneren ve detaylı frekans - enerji analizinin gerçekleştirildiği ilk çalışma olmasıdır.

HHT iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama "Ampirik Salınım Ayırıştırma" (Empirical Mode Decomposition - EMD) olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada seride saklı olan ve farklı frekanslara sahip bileşenler yüksek frekanstan düşük frekansa doğru eğri fonksiyonları aracılığıyla ayrıştırılmaktadır ve elde edilen bileşenler İçsel Salınım Fonksiyonu (Intrinsic Mode Function - IMF) olarak adlandırılmaktadır. EMD diğer analiz yöntemlerinden farklı olarak ampirik bir yöntemdir. Dolayısıyla, her tür serinin dinamiklerini ortaya çıkaracak biçimde uyarlanabilir niteliktedir. Bu nedenle, HHT yönteminin uygulanabilmesi için doğrusallık ya da durağanlık varsayımları gerekli değildir. Uyarlanabilirlik özelliği sayesinde spektral ya da zaman serisi analizleri için gerekli olan temel fonksiyon seçimi gerekliliği de ortadan kalkmaktadır. HHT yönteminin ikinci aşamasında ise elde edilen salınım verileri kullanılarak anlık frekans tahminlenmesi Hilbert dönüşümü aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. HHT, zaman - frekans analizi yöntemidir ve klasik zaman serisi analizinden - doğrusal olmayan trendin analizi ve durağan olmayan seriler için kullanılabilir olması nedeniyle - daha üstün niteliktedir.

Finansal fiyat serileri bazı dönemlerde şiddetli artış ve azalışlar göstermekte; diğer dönemlerde ise söz konusu artış ya da azalışlar oldukça düşük gerçekleşmektedir. Şiddetli artış ve azalışlar uzun dönemli fiyat genel seviyesinde meydana gelen kaymalar olabileceği gibi ani şokların etkisiyle meydana gelen kısa dönemli değişimler biçiminde de olabilir. Söz konusu değişimler gerçek IMF bileşenlerinin elde edilmesi açısından dikkate alınmalıdır. Fiyat serilerindeki dalgalanmaları etkin biçimde ortaya çıkarmak amacıyla; söz konusu artış ve azalışları dikkate alan referans doğrusunun tahminlenerek veri setinin normalleştirilmesine dayanan yöntemler kullanılmıştır. Söz konusu yöntemlerden birincisi, elde edilen bileşenlerin referans doğrusu olarak kullanılarak verinin normalleştirilmesine dayanan "Direkt EMD Temelli Normalleştirme" modelidir.

Normalleştirmeye dayanan diğer bir yöntem de EMD bileşenlerinin yanında matematiksel fonksiyonların kullanılmasına dayanan "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" yöntemidir.

Uzun dönemli şiddetli artış ya da azalışların ve şiddetli şokların yanında, oldukça düşük şiddetli ve kısa dönemli fiyat değişimleri de finansal verilerin diğer bir özelliği olup gerçek IMF bileşenlerinin elde edilmesi açısından dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, bu çalışmada, EMD yönteminin varyasyonu olan Grupsal EMD (Ensemble - EMD) (EEMD) yönteminin yanında; farklı yaklaşımların bileşimini ifade eden Geliştirilmiş EEMD (Modified - EEMD) (M-EEMD) yöntemi de kullanılmıştır. EEMD yöntemi veri setinde meydana gelen küçük değişimlerin daha etkin tahminlenebilmesi için gürültü serisinin kullanılmasına dayanır. MEEMD yöntemi ise kullanılan gürültü serisinin nihai sonuçları bozucu etki göstermemesi ve ayrılan bileşenlerin ideal IMF özelliklerine sahip olmasını sağlamayı amaçlayan yaklaşımların bileşimini ifade eder.

Ayrıca anlık frekans hesaplanmasına ilişkin son gelişmeler ışığında frekans ve enerji değerleri, bileşenlerin gerçek anlık frekansın hesaplanmasını sağlamasına dayanan "Normalleştirilmiş Hilbert Dönüşümü" (Normalized Hilbert Transform - NHT) kullanılmıştır. Ayrıca anlık frekans değerleri, dikgen fonksiyonunun kullanılmasına dayanan "Doğrudan Dikgen" (Direct Quadrature - DQ) yöntemi ve bileşendeki zirve, sıfır - geçiş, dip noktalarının kullanılmasına dayanan "Genelleştirilmiş Sıfır - Geçiş" (Generalized Zero Crossing - GZC) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada finansal varlıklara ilişkin fiyat serileri HHT analizi yönteminin farklı varyasyonları kullanılması yoluyla bileşenlerine ayrılarak frekans - zaman boyutunda incelenmektedir. HHT analizi sonucunda elde edilen döngü ve doğrusal olmayan trend bileşenleri arasındaki ilişki ise "Zamana Bağlı İçsel Korelasyon" (Time Dependent Intrinsic Correlation - TDIC) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. TDIC, anlık frekans değerleri kullanılarak hesaplanan hareketli pencereler yardımıyla zamana bağlı değişen korelasyon değerlerinin hesaplanmasına dayanır. Böylelikle bileşenler arasındaki ilişki detaylı biçimde ve klasik korelasyon yönteminin dayandığı durağanlık, doğrusallık ve

normal dağılım varsayımları kullanılmadan incelenebilir hale gelmiştir. Yukarıda ifade edilen yöntem ve modeller ile frekans olgusunun oldukça karmaşık olması nedeniyle bu çalışmada klasik frekans - anlık frekans olguları ile frekans hesaplama yöntemleri ve HHT analizi detaylı biçimde incelenerek sosyal bilimler açısından frekans-zaman analizi konusunda teorik ve uygulamaya dayalı başvuru kaynağı yaratılması hedeflenmiştir.

Uluslararası finans, ekonomi ve matematik alanlarını içeren disiplinler arası nitelikte olan bu çalışma, ulusal ve uluslararası yazına katkı sunmaktadır. Bu çalışmada fiyat serilerine ilişkin bileşenler EMD, EEMD, MEEMD, "Direkt EMD temelli Normalleştirme" ve "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" modelleri kullanılarak ayrıştırılmış; Hilbert, DQ ve GZC yöntemleri kullanılarak frekans-zaman boyutunda incelenmiş ve enerji - frekans değişimlerini içeren spektral sonuçlar ekonomi perspektifinden yorumlanmıştır. Bu açıdan incelendiğinde çalışma M-EEMD, LOGNL ve DIRECTSF modellerinin hisse senetleri verilerine uygulanması açısından dünyada yapılan ilk çalışma olmasının yanında, yazarın bildiği kadarıyla finansal serilerin zaman - frekans boyutunda analiz edilmesi ve anlık frekans konuları açısından yapılmış en kapsamlı çalışmadır. Ayrıca bileşenler arasındaki ilişki ilk kez TDIC kullanılarak analiz edilmiş ve hisse senedi piyasalarının bileşenleri arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca sosyal bilimler açısından incelendiğinde, bu çalışma HHT ve anlık - frekans konularında başvuru kaynağı özelliği taşımaktadır. Sosyal bilimler, finans ve ekonomi açısından incelendiğinde çalışma, frekans - zaman analizi açısından yapılmış ilk çalışma olma özelliğine sahiptir.

Finansal piyasalarda meydana gelen trend ve döngülerin analizi politika yapıcılar ve finansal aktörler açısından oldukça önemlidir. Fiyat serilerinin oluşumunu etkileyen iç içe geçmiş dinamiklerin birbirlerinden ayrıştırılması ile kısa ve uzun vadeli dinamikler görünür hale gelmektedir. Kısa dönemli dalgalanmalar ve uzun dönemli fiyat hareketi ile trend finansal açıdan farklı öneme sahiptirler. Finansal piyasalarda kısa dönemli işlem yapan kurumlar için kısa dönemli dalgalanmaların hesaplanması kritik öneme sahipken daha uzun dönemli döngüler ve

trend uzun dönemli yatırım yapan yatırımcı ve politika uygulayıcılar tarafından dikkate alınmaktadır. Serilerin kendisi yerine döngülere ayrıştırılarak risk analizi yapılması risk ölçümlemesi ve politika etkinliğinin analizi açısından daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca dinamiklerin ayrıştırılması finansal sistemde meydana gelen şok ve krizlerin kısa ve uzun vadeli sonuçlar ile etkilerinin analizini mümkün kılmaktadır.

HHT analizini temel alan farklı modeller kullanılarak elde edilen S&P 500 ve İMKB 100 endekslerine ait bileşenlerin enerji ve frekans değerleri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda sadece EMD yöntemi yerine HHT analizinin bir bütün olarak kullanılması sonucunda bileşenlerin yapısındaki değişimlere ilişkin daha fazla bilgi elde edildiği tespit edilmiştir. Yüksek frekanslı bileşenlere oranla daha düşük frekans seviyesinde daha istikrarlı enerji yapısı gözlenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu enerji yapısı yüksek periyoda sahip genel dalgalanmaların baskın olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca küresel ve yerel öneme sahip sosyo-ekonomik olayların enerji ve frekans değişimlerine neden olduğuna ilişkin bulgular elde edilmiştir. 2000 yılından itibaren enerji seviyesinin arttığı ve özellikle 2008 yılı ve sonrasında yüksek düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Korelasyon analizi sonucunda da korelasyon katsayılarının zamana bağlı olarak değişkenlik gösterdiği; ancak genel olarak artış eğilimine sahip olduğu ve özellikle 2008 yılı ve sonrasında yüksek seyrettiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde HHT analizine ilişkin ekonomi ve finans literatürü ve literatürün eksik yönleri belirtilmiştir. Klasik zaman - frekans analizi ve HHT analizi ise ikinci bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü ve son bölümünde ise HHT analizini kullanılarak elde edilen teknik bulgular detaylı olarak incelenmekte; sonrasında ise detaylı teknik bulgulara ilişkin genel ve ekonomik değerlendirmeler tartışılmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

HHT ANALİZİNE İLİŞKİN FİNANS VE EKONOMİ LİTERATÜRÜ

1.1. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde HHT analizine ilişkin finans ve ekonomi alanında yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Literatür taramasının yöntem bölümünden önce ele alınmasının ana nedeni; oldukça az sayıda çalışmayı içeren literatürün önemli metodolojik eksiklikler içermesidir. Söz konusu eksiklikler ışığında HHT analizi detaylı incelenmiş ve finans bilimine uyarlanması hedeflenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu eksiklikler yöntem bölümünün bir kısmının şekillenmesinde rol oynamıştır.

Verinin içerdiği dinamiklerini tespit eden, uyarlanabilir nitelikte olan tek yöntem olması sebebiyle HHT, aralarında iklim araştırmaları, deprem mühendisliği, sağlık bilimleri gibi oldukça çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, yöntemin çok yönlü kullanılabilmesi nedeniyle aralarında NASA, FBI gibi birçok akademik olmayan kurumda da uygulanmaktadır.

Doğa bilimlerinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen; sosyal bilimlerde özellikle de ekonomi alanında yöntem son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Ekonomi alanında HHT, gayrisafi milli hasıla ve petrol fiyatları gibi ekonomik değişkenlere uygulanarak kısa ve uzun dönemli döngüler ve trend analizi yapılmaktadır. Böylece kısa dönemli döngüler yanında uzun dönemli doğrusal olmayan trend etkin biçimde tespit edilerek ekonomi politikalarını etkileyen faktörler ve değişkenler arası ilişkiler analiz edilebilmektedir. Dar kapsamlı literatürü oluşturan çalışmalar bu bölümde özetlenmiş olup çalışmaların sahip olduğu ve analizlerin doğruluğunu etkileyebilecek kritik sorunlar ifade edilmiştir

Ekonomi ve finans alanına ilişkin dar kapsamlı literatürü oluşturan çalışmalardan Huang ve diğerleri (2003a) finansal zaman serilerinde HHT analizinin kullanılmasına ilişkin ilk çalışmalardan biridir. Çalışma, serinin getiri haline

dönüştürülmesinin trendi yok ettiğini belirtmiştir. Daha önemlisi, getiriye dönüştürme işleminin seriyi teorik olarak durağan hale getirmediği; sadece seriyi görünüşte durağan hale getirdiğini ifade etmektedir. Ayrıca EMD yönteminin doğrusal olmayan trendi tespit edebilecek nitelikte olmasının yanında veriyi temel alan ve verinin kendine özgü yapısından türetilen bir yöntem olmasından ötürü doğrusal olmayan filtre olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. ABD ekonomisine ilişkin Ocak 1972 - Aralık 2000 dönemini kapsayan 30 yıllık mortgage oranına ait haftalık ortalama serisinin HHT analizi sonucunda; HHT analizinin Fourier ve Dalgacın analizinden daha yüksek tahmin etkinliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu serinin ortalaması yaklaşık 8 yıl olan döngüye sahip olduğuna ilişkin bulgular elde edilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2007) Ocak 1946 - Mayıs 2006 dönemini içeren Aylık WTI ham petrol fiyatlarının EEMD yöntemi kullanarak analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, ham petrol fiyatlarının; EEMD yöntemiyle elde edilen uzun dönemli trend, önemli olaylar sonucunda meydana gelen şoklar ve arz - talep eşitsizliğinden kaynaklanan kısa dönemli dalgalanmalardan oluştuğuna dair bulgular elde edilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2009a) ham petrol fiyatlarını etkileyebilecek ekstrem olayların analizinde EEMD yönteminin kullanılabilmesini ifade etmiştir. Çalışmada, 1991 Körfez Savaşı ve 2003 Irak Savaşı'nın WTI ve Brent ham petrol fiyatlarının üzerindeki etkisi EEMD yöntemi kullanılarak incelenmiştir. 1991 Körfez Savaşı ve 2003 Irak Savaşı'nın etkilerinin tespit edilmesi amacıyla sırasıyla Nisan 1990 - Nisan 1991 ve Ağustos 2002 - Haziran 2003 dönemlerini kapsayan ham petrol fiyatları EEMD yöntemiyle bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda düşük frekansa sahip bileşenlerin yüksek frekansa sahip bileşenlere oranla daha önemli olayların etkilerini barındırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Savaşların, savaş süresince, petrol fiyatlarında kısa ve orta dönemli dalgalanmaları artırdığı ifade edilmiştir. Savaşların uzun dönemli etkisinin ise trend eğrisinin kayması biçiminde ortaya çıktığı bulunmuştur. Zhang ve diğerleri (2009b) 2008 finans krizinin ham petrol fiyatı oynaklığı üzerindeki ilişkiyi EMD yöntemi kullanarak incelemiştir. Mart 2006 - Aralık 2008 günlük WTI ve Brent ham petrol fiyatlarının kullanıldığı çalışma

sonucunda krizin yüksek frekans ve düşük genlik değerlerine sahip dalgalar ile delta fonksiyonuna benzer yapıya sahip şiddetli bir şok meydana getirdiği ileri sürülmüştür.

Wu (2007a, 2007b, 2007c) EMD yöntemi kullanılarak elde edilen faz açılarından yola çıkarak finansal verilerin analizini gerçekleştirmiştir. Wu (2007a), Şubat 1986 - Aralık 1996 dönemini kapsayan günlük USD/DEM ve USD/JPY döviz kurları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırma sonucunda 1986 - 1989 döneminde korelasyon değerinin 1990 - 1993 dönemine oranla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Wu (2007b, 2007c) ise DJIA ve NASDAQ endeksleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Ağustos 1997 - Aralık 2003 dönemini kapsayan gün-içi endeks getirileri arasındaki ilişki EMD yöntemi kullanılarak elde edilen faz açıları kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, Eylül 2001 döneminden sonra endeksler arasında korelasyon düzeyinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Oladosu (2009) ise HHT yöntemini kullanarak ham petrol fiyatları ile ABD gayri safi milli gelirine ilişkin konjonktür dalgalanmaları arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Ocak 1997 - Şubat 2008 dönemini kapsayan üç aylık WTI petrol fiyatı ve mevsimsel etkidenden arındırılmış ABD gayri safi milli hasıla değeri EMD yöntemiyle bileşenlerine ayrılmış ve söz konusu bileşenler arasındaki ilişki temel korelasyon analizi ile incelenmiştir. Araştırma sonucunda petrol arz ve talebini etkileyen faktörlerin ABD milli gelirini de etkileyerek konjonktür dalgalanmalarına yol açtığı bulunmuştur. Orta vadede petrol fiyatı ile gayri safi milli hasıla arasında ters yönlü ilişki tespit edilmiştir.

Guhathakurta ve diğerleri (2008) kantitatif ve kalitatif açıdan birbirinden farklı finansal piyasalardaki yatırımcı davranışlarını incelemek amacıyla HHT kullanarak Hong Kong ve Hint borsalarını incelemiştir. Temmuz 1990 - Ocak 2006 dönemini kapsayan günlük NIFTY ve AOI endeks getirileri EMD yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılmış ve yüksek frekansa sahip bileşenlerin olasılık dağılımları incelenmiştir. Birbirlerinden oldukça farklı kalitatif ve kantitatif özellikleri olmasına rağmen söz konusu iki piyasada oldukça benzer konjonktür

yapısı olduğu ortaya çıkmıştır. Hong (2010) ise 2 Kasım 2010 - 17 Kasım 2010 dönemini kapsayan beş dakikalık petrol futures kontrat getirilerinin EMD yöntemiyle bileşenlerine ayırarak incelemiştir ve araştırma sonucunda kısa dönemli dalgalanmalara ilişkin bulgular elde edilmiştir.

Yu ve diğeri (2007, 2008, 2010) finansal ve ekonomik verilerin tahminlenmesi amacıyla petrol fiyatlarının öngörülenmesi amacıyla EMD ve yapay sinir ağlarının bileşimini içeren bir yaklaşım geliştirmiştir. Yu ve diğeri (2007, 2008) Ocak 1986 - Eylül 2006 ve Ocak 1998 - Ekim 2006 dönemlerini kapsayan günlük WTI ve Brent petrol fiyatı ve EMD yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılmış ve yapay sinir ağları kullanılarak fiyat serileri tahminlenmiştir. Çalışma sonucunda, EMD yönteminin kullanılması sonucunda tahminleme etkinliğinin yükseldiği ve ham petrol fiyatlarının tahminlenmesinde EMD temel alınarak uygulanan yapay sinir ağının kullanılabileceği ifade edilmiştir. Yu ve diğeri (2010) çalışmasında ise finansal kriz göstergelerinden olan döviz kuru verilerinin EMD temelli yapay sinir ağlarıyla ve geleneksel sinir ağlarıyla analiz edilerek tahminleme etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Ocak 1996 - Aralık 1998 dönemini kapsayan günlük Güney Kore Won ve Tayland Baht para birimlerinin analizi sonucunda EMD yönteminin kullanılmasının tahminleme etkinliğini artırdığı tespit edilmiştir. Sun ve Sheng (2010) çalışmasında Çin borsa endeksi - CSI 3000 endeksinin spot piyasadaki değeri ile futures kontrat değeri arasındaki farkı ifade eden baz değerinin EMD yöntemi ile analizini gerçekleştirmiştir. 16 Nisan 2010 - 10 Haziran 2010 tarihlerini kapsayan beş dakikalık verilerin EEMD yöntemi ile analizi sonucunda elde edilen trend değerinin veriden çıkarılması halinde piyasa verisinin etkin piyasa hipotezine daha uygun hale geldiği tespit edilmiştir.

Meng ve diğeri (2010) Çin'de uygulanan ekonomi politikaları ile finansal krizler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 1997 - 2009 dönemini kapsayan M2 artış oranını para politikasının hedefi olarak uygulanabilirliği açısından EMD yöntemi kullanılarak analiz etmiştir. Araştırma sonucunda genişlemeci para politikasının önceki dönemde uygulanan para politikasının ve finansal krizin negatif etkilerini yok ettiği tespit edilmiştir.

Ekonomi ve finans alanındaki oldukça dar kapsamlı literatürü oluşturan ampirik çalışmalar temel olarak bazı sorunlara sahiptir. İlk olarak, serilerin getiri haline ya da durağan hale getirmek amacıyla farkının alınması serideki trendi ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla durağan hale getirilmiş serinin EMD yöntemiyle analizi gerçek serinin dolayısıyla ekonomi ve finansal piyasaya ilişkin döngü ve trend hakkında bilgi sağlayamayabilir. İkinci olarak EMD yönteminin veri serisine doğrudan uygulanması kalibrasyon sorununu ortaya çıkarmaktadır. EMD parametrelerinin serinin sahip olduğu özelliklere uygun olarak seçilmemesi elde edilen bileşenlerin doğruluğunu etkileyebilir. Son olarak, sadece EMD uygulanması sonucunda elde edilen bileşenlerin görsel olarak yorumlanması bileşenin sahip olduğu kritik öneme sahip değişimlerin tespit edilememesine neden olabilir. Dolayısıyla, bileşenin kendisi yerine bileşenin sahip olduğu frekans ve enerji seviyelerinde meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi; seriyi meydana getiren bileşenlerde meydana gelen önemli değişimleri ve değişimlerin nedenlerinin analiz edilmesinde gerekli bir unsurdur.

İKİNCİ BÖLÜM

ZAMAN FREKANS ANALİZİ VE HHT YÖNTEMİ

Bu bölümde ilk olarak veri analiz sürecinde kritik öneme sahip olan durağanlık, doğrusallık kavramları ile zaman - frekans analizinin anlaşılabilmesi için gerekli kavramlar ele alınmıştır. Ayrıca, durağan olmayan verilerin analiz edilmesinde kullanılan yöntemler sıralanmış ve HHT analizi detaylı olarak ele alınmıştır. HHT analizinde kullanılan temel EMD yönteminin yanında EEMD ve M-EEMD yöntemleri de detaylı olarak incelenmiştir.

2.1. ZAMAN FREKANS ANALİZİ

2.1.1. Veri Analizi ve Durağanlık

Veri analizi günümüzde bilimsel araştırmaların vazgeçilmez unsurudur. Veri analizi iki temel amaca hizmet etmektedir: a) incelenen olgunun anlaşılabilmesine yardımcı olacak gerekli modellerin kurulabilmesi için ihtiyaç duyulan parametrelerin belirlenmesi; b) var olan durumu temsil eden modelin uygunluğunun araştırılması. Ancak veri, fiziksel ölçümlerden ya da nümerik modellerden elde edilse bile, dikkate alınması gereken bazı özelliklere sahip olabilir: a) veri aralığı gerçek durumu tespit etmek için yeterli olmayabilir; b) veri durağan olmayabilir; c) veri doğrusal olmayan dinamikler içerebilir. Dolayısıyla, var olan analiz yöntemlerinin birçoğunun uygulanabilmesi için veri ilk olarak bazı işlemlerden geçirilmektedir. Bu işlemlerden en yaygın olanı incelemeye konu olan zaman serisinin farkının alınarak durağanlaştırılmasıdır. Durağanlık, veri analiz yöntemlerinin çoğunluğu için gerekli bir koşuldur. Geleneksel tanıma göre veri serisi, $X(t)$, aşağıdaki koşulları sağlaması durumunda geniş anlamda durağan olmaktadır.

$$E(X(t)) = \mu, \quad (2.1)$$

$$E(|X(t)|^2) < \infty, \quad (2.2)$$

$$C(X(t_1), X(t_2)) = C(X(t_{1+\tau}), X(t_{2+\tau})) = C(t_1 - t_2) \quad (2.3)$$

Burada $E(\cdot)$ beklenen değeri; $C(\cdot)$ ise kovaryans fonksiyonu ifade etmektedir. Geniş anlamda durağanlık; zayıf durağanlık, kovaryans durağanlık ya da ikinci dereceden durağanlık olarak da adlandırılmaktadır. Katı durağanlık (diğer bir ifadeyle dar anlamda durağanlık) ise aşağıda belirten koşulun sağlanmasına bağlıdır.

$$F_X[X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)] = F_X[X(t_{1+\tau}), X(t_{2+\tau}), \dots, X(t_{n+\tau})] \quad (2.4)$$

burada $F_X[\cdot]$ ortak dağılımı ifade etmektedir. Dolayısıyla, sonlu ikinci moment değerine sahip katı durağan seri aynı zamanda zayıf durağandır. Yukarıda ifade edilen durağanlık tanımları ideal durumu ifade etmekle birlikte esnek olmayan niteliktedir. Daha esnek durağanlık tanımlamaları da bilimsel araştırmalarda kullanılmaktadır. Örneğin, belli bir zaman aralığında durağanlığı ifade eden parçalı durağanlık ve Denklem (2.3) ve (2.4)'te bulunan τ parametrenin sonsuza yakınsaması durumunu ifade eden asimptotik durağanlık tanımları da mevcuttur. Pratikte veri setleri ancak sonlu zaman aralıklarında, yani belirli periyot dahilinde, elde edilebilmektedir. Dolayısıyla, durağanlık sınavasında yaklaştırma yapmak (örneğin serinin gözlem sayısı sonsuza giderken durağan olduğuna ilişkin varsayımda bulunmak) zorunluluk halini almaktadır. Tüm olası gözlemleri içeren yeterli veri seti elde edilememesinden ötürü veri setinin süreksiz yapısı durağanlık sınavasının kesinliğini sorgulanabilir hale getirmektedir (Huang ve diğerleri, 1998:905).

Veriyi durağan hale getirmek için yapılan tüm işlemler sonucunda zaman serisinin yapısı, dolayısıyla ihtiva ettiği doğrusal olmayan dinamikler, bozulmaktadır. Sonuç olarak elde edilen dönüştürülmüş veri fiziksel olarak bir anlam ifade etmemektedir. Burada kullanılan fiziksel anlamlılık terimi, pozitif bilimlerdeki kullanımına benzer olarak serinin içerdiği dinamiklerin doğru olarak ortaya konmasını ifade eder. Dolayısıyla, serinin düzeyde analiz edilebilmesi için veri

analizi yöntemi, doğrusal olmayan ve durağan olmayan verinin analizini gerçekleştirebilecek nitelikte olmalıdır.

Doğrusal ve durağan olmayan zaman serilerinin analiz edilebilmesi için kullanılacak veri analiz yönteminin dört temel özelliğe sahip olması gerekir. Bunlar kısaca: 1) Tamlık, veri analiz yönteminin, veriyi sayısal olarak eksiksiz analiz etmesidir. Örneğin veri setini bileşenlerine ayıran veri analiz yönteminin kullanılması sonucunda elde edilen bileşenlerin toplamı söz konusu veriyi eksiksiz sağlıyorsa analiz yöntemi tamlık niteliğine sahiptir. Tamlık, analiz yönteminin hassaslık derecesini artırır. 2) Ortogonallik, veri analizi sonucunda elde edilen bileşenlerin birbirinden bağımsız olmasını ifade etmektedir. Ortogonallik, özellikle spektral analizde, veri setine ilişkin enerjinin pozitif olmasını sağlar ve enerji dağılımının hassasiyetini artırarak yapay enerji yayılımını engeller. 3) Yerellik, doğrusal olmayan zaman serileri için kritik öneme sahiptir çünkü doğrusal olmayan verinin genel (tüm seri için geçerli ve sabit) zaman skalası yoktur. Seriyi etkileyen tüm olayların belli bir zaman kalıbına bağlı olmadan gerçekleşmelerinden ötürü olayların oluş zamanları düzensiz bir yapı göstermektedir. Bu nedenle, enerji ve frekans zaman fonksiyonu olarak tanımlanmalıdır. 4) Uyarlanabilirlik, veri analizinin yerel değişkenlikleri dikkate aldığı ölçüde verinin içerdiği fiziksel süreçleri açıklayabilmesini ifade eder. Yerel değişikliklerin analiz edilmesi için analiz yöntemi genel-geçer, yani yapısı sabit, modellerin yerine veri setine göre değişebilen yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Huang ve diğerleri, 1998:910).

2.1.2. Veri Analizi ve Veri İşleme Arasındaki İlişki

Veri analizinin temelde yapay ya da doğal süreçlere ilişkin verilerin özelliklerinin ortaya konması süreci olarak tanımlanmasına rağmen mevcut yöntemler, veri ve yönteme ilişkin bir takım kısıtlamalar ya da değişiklikler yapmamızı zorunlu kılar. Ancak verinin doğası ve analiz yöntemlerinin sahip olduğu kısıt ya da varsayımlar birbirleriyle çelişmektedir. Doğa ya da sistemlere ilişkin açıklanamayan ya da algılanamayan gerçeklikle ilgili tek bağımız veri setidir. Dolayısıyla, bilimsel teknikler bize gerçekliği anlamamız ya da ortaya çıkarmamız

için gerekli araçları sunar. Veri setindeki gizli dinamik ya da mekanizmaların anlaşılabilmesi için doğrusal olmama ve durağan olmama olgularının dikkate alınması kritik öneme sahiptir. Pozitif bilimlerin bize sunduğu modellerin çoğu durağanlık veya doğrusallık ya da hem durağanlık hem de doğrusallık varsayımlarını dikte eder. Fakat gerçek dünya ne doğrusal ne de durağandır. Gerçek dünyayı göz ardı eden matematiksel modellerin kullanılarak veriye ilişkin özelliklerin tespiti süreci "veri analizi" yerine "veri işleme" olarak adlandırılabilir. Çünkü sıkı biçimde tanımlanmış modeller, veri girdisini standart parametrelere dönüştüren süreçler olarak düşünülebilir. Dolayısıyla, verinin "kendi adına konuşmasını" sağlayan, yani veriyle ilişkili olmayan matematiksel kuralları analize katmayan, kısaca uyarlanabilir olan yöntemlere günümüzde şiddetle ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü veri analizinin nihai amacı verinin matematiksel özelliklerinin ortaya çıkarılması değil verinin barındırdığı dinamiklerin ortaya çıkarılmasıdır (Huang ve Wu, 2008:1).

2.1.3. Zaman-Frekans Analizi: Temel Kavramlar

Veri analizi yöntemlerinden olan zaman-frekans analizi, temel olarak genlik ve faz açısına sahip veri seti ya da fonksiyonlarının aynı anda hem frekans hem de zaman boyutunda analiz edilmesi sürecini ifade eder. Veri seti ya da fonksiyonların zamanla değişmesi, veri analizi açısından son derece önemli olup serinin içerdiği dinamiklerin ve gelecekteki durumlarının tespit edilmesi süreçlerinin kritik noktasını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, seriye ilişkin daha fazla bilgi edinilmesi için serinin farklı biçimlere dönüştürülerek analiz edilmesi yararlı olabilir; bu amaçla veri seti, sinyal bileşenlerine ya da fonksiyon grubuna dönüştürülerek frekans boyutunda incelenebilmektedir. Böylelikle, zaman boyunda fark edilemeyen karakteristik nitelikler, özellikle içsel dalgalanmalar, frekans boyutunda gözlemlenebilir. Ancak, veri setinin matematiksel olarak çok sayıda farklı biçime dönüştürülebilmesine karşın dönüştürme süreci sonunda elde edilen fonksiyon grubu ya da bileşenlerin fiziksel olarak anlamlı olması gerekmektedir.

Zaman - frekans analizine ilişkin temel kavramlardan en önemlisi sinyal kavramıdır. Sinyal temel olarak grafiksel gösterimi dalga şeklinde olan

fonksiyonlardır. En temel sinyal olarak adlandırılan zamana bağlı değişen fonksiyon ise sinüzoid fonksiyondur. Temel olarak sinüzoid fonksiyonu, $s(t)$, zamana bağlı olarak değişen genlik ve frekans bileşenlerinden oluşmaktadır:

$$s(t) = a(t) \cos \phi(t) \quad (2.5)$$

burada $a(t)$ genlik bileşenini, $\phi(t)$ ise faz açısını ifade etmektedir. Faz açısının zamana bağlı türevi açısal hız ya da frekans, $\omega(t)$, olarak tanımlanmaktadır. Daha genel bir ifadeyle frekans, birim zamandaki salınım sayısı olarak ifade edilebilir. Sinyalin frekans ve genliği sabit olabileceği gibi zamana bağlı olarak da değişebilir. Genlik ise her bir salınımın minimum ve maksimum noktaları arasındaki yükseklik farkı olarak tanımlanabilir. Yukarıda belirtilen sinyalin genlik ve frekansının zamana bağlı değişmesinden ötürü salınım hızı ve şiddeti de zamana bağlı değişmektedir. Frekans ve genlikteki değişim sırasıyla "frekans modülasyonu (FM)" ve "genlik modülasyonu (AM)" olarak adlandırılmaktadır. Klasik zaman-frekans analizinin temel kavramlarından biri olan serinin enerjisi ise, zaman ya da frekans boyutunda ifade edilen sinyalin karesi alınarak, $|s(t)|^2$ ya da $|S(\omega)|^2$, hesaplanmakta olup sinyalin oluşması için gerekli birim zamanda ihtiyaç duyulan güç olarak tanımlanabilir. Toplam enerji ise birim enerjilerin toplamı olarak ifade edilebilir:

$$E = \int |s(t)|^2 dt = \int |S(\omega)|^2 d\omega \quad (2.6)$$

Zaman ve frekans boyutları, birbirine benzeyen ama veriyi farklı biçimde ifade eden boyutlar olarak tanımlanabilir. Frekans boyutundaki "bant genişliği" kavramı, zaman boyutundaki standart sapma kavramına benzemekte olup frekans analizi bakımından önemlidir. Ortalama frekans ve bant genişliği sırasıyla aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$\langle \omega \rangle = \int \omega |S(\omega)|^2 d\omega \quad (2.7)$$

$$\sigma_{\omega}^2 = \int (\omega - \langle \omega \rangle)^2 |S(\omega)|^2 d\omega = \langle \omega^2 \rangle - \langle \omega \rangle^2 = \sigma_{\omega,FM}^2 + \sigma_{\omega,AM}^2 \quad (2.8)$$

Bant genişliği, FM ve AM bileşenlerinden etkilenmektedir dolayısıyla farklı FM ve AM bileşenleri kullanılarak aynı bant genişliğine sahip frekanslar yaratılabilmektedir. Burada belirtilmesi gereken önemli husus, seriyi ifade eden gerçek FM ve AM bileşenlerinin tespit edilebilmesi halinde sinyalin frekans aralığı hakkında doğru bilgi edinilebilmesidir.

Frekans analizi yaklaşımı, Fransız matematikçi Fourier tarafından geliştirilen Fourier dönüşümü ile başlamıştır. Birçok yöntemin temelini oluşturan Fourier dönüşümü aynı zamanda sinyal fonksiyonlarının oluşturulmasına da temel olmuştur. Fourier dönüşümünün temelini, süreksiz bir fonksiyonun sürekli fonksiyonların toplamı olarak gösterilmesi düşüncesi oluşturur. Fourier analizine göre sinyal, sinüzoidal fonksiyonların toplamı olarak ifade edilebilir:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int S(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2.9)$$

burada $e^{i\omega t}$; ω frekans düzeyinde genliği $S(\omega)$ olan sinyalin karmaşık yapıda gösterimini ifade eder. $S(\omega)$, Fourier dönüşümü olarak adlandırılan süreç sonunda elde edilebilir:

$$S(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int s(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.10)$$

$S(\omega)$ değerlerinin grafiksel gösterimine Fourier spektrumu adı verilir. Fourier dönüşümünde sinyaller karmaşık yapıda ifade edilirler çünkü Denklem (2.5)'te ifade edilen frekans ve genlik bileşenleri değiştirilerek sonsuz sayıda aynı değerli sinyal türetilebilir. Dolayısıyla, sinyali oluşturan "gerçek" genlik ve faz fonksiyonları elde edilmelidir. Sadece gerçek faz fonksiyonu elde edilmesi halinde gerçek anlık frekans değerleri elde edilebilir.

Sinyalin karmaşık formulu gösterimi aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$s(t) = A(t)e^{i\varphi(t)} = s_R + is_I \quad (2.11)$$

Karmaşık form gösteriminde sanal kısmın doğru olarak belirlenmesi, frekansın doğru hesaplanmasını olanaklı kılması açısından gereklidir. Klasik frekans analizinde sanal kısmın hesaplanması için analitik sinyal yaklaşımından faydalanılır. Herhangi bir sinyalin spektrumu sıfır noktasına göre simetrik negatif ve pozitif frekans verilerinden oluşur. Analitik sinyal yaklaşımı ise söz konusu sinyalin pozitif alandaki frekans yapısının aynısına sahip fakat negatif alanda sıfır spektruma sahip bir sinyal yaratılmasını içerir. Analitik sinyal yaklaşımı aracılığıyla spektrumu $S(\omega)$ olan $s(t)$ sinyali kullanılarak elde edilen karmaşık formulu $z(t)$ sinyali aşağıdaki biçimde gösterilebilir:

$$z(t) = 2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} dt \quad (2.12)$$

Gerekli matematiksel düzenlemeler yapıldıktan sonra analitik sinyal aşağıdaki biçime dönüşür:

$$z(t) = s(t) + \frac{i}{\pi} \int \frac{s(t')}{t-t'} dt' \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)'ün sağ tarafının ikinci kısmı Hilbert dönüşümünü ifade etmektedir. Dolayısıyla, analitik sinyal hesaplanırken Hilbert dönüşümünden yararlanılabilir. Hilbert dönüşümü $H[\cdot]$ olarak ifade edilmesi durumunda karmaşık formulu sinyal $z(t) = s(t) + iH[s(t)]$ şeklinde gösterilebilir. Fourier dönüşümünün kısıtları ile Hilbert dönüşümü hakkında ilerleyen bölümlerde detaylı bilgi verilecektir.

2.1.4.Durağan olmayan Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler

Fourier analizi temel olarak doğrusal olmayan bir sistemin doğrusal sistemlere indirgenmesine dayanır. Dolayısıyla, dönüşümün sonucu doğrusal sistemlerin toplamı olmaktadır. Fourier dönüşümü sistemin temel salınımlarını içeren birinci dereceden sonuç ve harmonikleri içeren ikinci dereceden sonuç bileşenlerinden oluştuğunu varsaymaktadır. Bu yöntem matematiksel olarak oldukça geçerli bir yöntemdir çünkü bileşenlerin toplamı veri setini eksiksiz yansıtmaktadır. Ancak Fourier dönüşümü bazı dezavantajlara sahiptir. Fourier dönüşümü küçük ölçekli doğrusal olmama - yani şiddetli doğrusal olmayan dinamiklere sahip olmama - durumunda doğru sonuç verirken veri setinin şiddetli biçimde doğrusal olmaması halinde bu yaklaşım etkin çalışmamaktadır. Daha da önemlisi veri setinin doğrusal olmaması halinde dönüşüm sonucu fiziksel olarak yorumlanamamaktadır (Huang ve diğerleri, 1999: 418). Serinin durağan olmaması ya da doğrusal olmaması halinde ise serinin özelliklerini yansıtmayan; sadece matematiksel anlam ifade eden yapay bileşenler çözüm sürecinde oluşmaktadır.

Evrimsel spektrum, Fourier dönüşümü kullanan ve durağan olmayan yöntemlerden biridir. Temel olarak Fourier dönüşümünü genelleştirerek sinüs ya da kosinüs fonksiyonları yerine ortogonal fonksiyon grubu kullanır. Dolayısıyla, veri seti genliği değişen trigonometrik fonksiyon grubuna genelleştirilir. Bu yöntemin dezavantajı fonksiyon grubunun veri analizinden önce belirlenmesi zorunluluğudur ki pratikte kullanılan veri setleri için fonksiyon grubunun önsel olarak belirlenmesi imkansızdır. Dolayısıyla, uygulama aşamasında simülasyon verileri kullanılarak veri davranışına ait bilgi edinilmeye çalışılmaktadır (Huang ve diğerleri, 1998: 909). Veri setine ilişkin fonksiyonel yapının sonsal olarak belirlendiği yöntem Ana Bileşen Analizi (Principal Component Analysis) (ABA) yöntemidir ve önsellik özelliği bu yöntemin etkin olmasını sağlamaktadır. ABA temel olarak veri setini ampirik eigen fonksiyon grubundan meydana gelen ortonormal baz fonksiyona (Basis Function) dönüştürür. ABA yöntemi dikkatli kullanılmalıdır çünkü ABA tek ve benzersiz fonksiyon bileşenleri türetmeyebilir; bileşenlerden birinin eksik olması diğer tüm bileşenlerin fiziksel olarak anlamsız olmasına neden olabilir. Bu dezavantajın

ortadan kaldırılması için bileşenlerin Fourier dönüşümü gerçekleştirilmektedir ancak bu durumda da tüm bileşenlerin durağan olması kısıtı anlamlı sonuçlar için zorunluluktur (Huang ve diğerleri, 1998: 909).

Durağan olmayan verilerin analizinde kullanılan en temel yöntem; spektrogram yöntemidir. Temel olarak spektrogram, sabit zaman genişlikli pencere kullanılarak Fourier analizi yapılması sonucu elde edilen frekans-zaman grafiğidir. Spektrogram, Fourier analizine dayanmasından ötürü pencere içinde yer alan veri seti durağan olmak zorundadır. Dolayısıyla, tüm pencerelerde verinin durağan olması gereklidir ancak bu durum yöntem uygulanması konusunda sıkıntı yaratmaktadır. Ayrıca, pencere genişliğinden daha uzun süreli salınımların tespit edilmesinde de sorun ortaya çıkmaktadır. Çünkü pencere uzunluğu temel alınarak alt periyotlara ayrılan veri setinin analizi sonrasında elde edilen bulguların toplamının; veri setinin doğrudan analizi sonunda elde edilen bulgularla benzer olma garantisi yoktur. Spektrogram yönteminde, veri setine ilişkin değişimlerin zamanının tespiti için pencere genişliğinin oldukça dar olması gerekirken; serinin frekans yapısının etkin analiz edilebilmesi içinse pencerenin mümkün olduğunca geniş olması gerekmektedir (Huang ve diğerleri, 1998: 907).

Diğer bir analiz yöntemi ise Wavelet (Dalgacık) analizidir. Temel olarak dalgacık analizi, ayarlanabilir pencere kullanılarak Fourier analizi yapılmasını ifade eder. Dalgacık fonksiyonu genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$W(a, b; X, \psi) = |a|^{1/2} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.14)$$

burada $\psi^*(\cdot)$ temel Dalgacık fonksiyonunu, a genişleme faktörünü, b ise verideki değişimin orijin noktasına uzaklığını ifade eder. Dalgacık analizinde frekans ve zaman değerleri direkt olarak elde edilememesine rağmen b değişimin lokasyonunu $1/a$ ise frekans ölçeğini gösterir. Dolayısıyla, $W(a, b; X, \psi)$, $X(t)$ serisinin b zaman noktasında a ölçekli enerji değerini verir. Uygulamada birçok dalgacık fonksiyonu geliştirilmiş olmasına rağmen en çok kullanılan Morlet dalgacık fonksiyonudur.

Morlet fonksiyonu, genel olarak, 5,5 dalga boyunda ve Gaussian zarf fonksiyonuna sahip sinüs ve kosinüs dalga grupları olarak tanımlanabilir. Dalgacık analizi doğrusal bir analiz yöntemidir. Morlet fonksiyonunun temel dezavantajı enerji sızıntısına sebep olmasıdır. Dolayısıyla, Dalgacık analizi kullanılarak elde edilen enerji-frekans-zaman dağılımına ilişkin sadece kalitatif yorum yapılabilmektedir. Bununla birlikte, Dalgacık analizinde yerel değişimler sadece yüksek frekans değerlerinde görülebilir hale gelmektedir, dolayısıyla düşük frekanslı yerel değişimlerin tespiti için de yüksek frekansa bakılması zorunluluğu dalgacık analizinin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Dalgacık analizine ilişkin diğer bir zorluk ise analiz yönteminin uyarlanabilir olmamasıdır. Seçilen dalgacık fonksiyonunun kısıtlarından analiz yöntemi etkilenmektedir. Sonuç olarak dalgacık analizi durağan olmayan ama doğrusal olan verilerin analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Huang ve diğerleri, 1998: 907).

Wigner-Ville Dağılımı (diğer ismi ise Heisenberg Dalgacığı) (WVD) da frekans analizinde kullanılmakta olup otokorelasyon fonksiyonunun Fourier dönüşümüne tabi tutulmasıdır. Seriyeye ilişkin otokorelasyon fonksiyonu ve fonksiyonun sahip olduğu WVD sırsıyla aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$C_C(\tau, t) = X\left(t - \frac{1}{2}\tau\right)X^*\left(t + \frac{1}{2}\tau\right) \quad (2.15)$$

$$V(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} C_C(\tau, t)e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (2.16)$$

WVD, Spektrogram yönteminden daha iyi frekans ve zaman çözünürlüğü sunarken birçok yapay bileşenin ve fiziksel olarak anlamsız olan negatif enerji değerlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Söz konusu dezavantajların yok edilmesi için temelde Fourier dönüşümüne dayanan Kernel fonksiyonları kullanılabilir; ancak bu durumda da Fourier dönüşümünün sahip olduğu sınırlamalar geçerli olmaktadır (Huang ve diğerleri, 1998: 908).

Veri setinin durağan olmaması ve doğrusal olmaması halinde veri seti, sinyal tanımına uymamaktadır. Dolayısıyla, klasik zaman frekans analizinde enerji yayılmasına neden olan yapay harmonik bileşenler (spurious harmonic component) oluşmasına neden olmakta ve yanıltıcı enerji-frekans dağılımı oluşmaktadır. Yapay bileşenlerin oluşması durumunda; söz konusu bileşenlerin genlik ve frekans değerleri spektrumun doğruluğunu ortadan kaldırmaktadır.

2.2. HHT YÖNTEMİ

Yukarıda da ifade edildiği gibi HHT analizi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada veri EMD yöntemiyle bileşenlere ayrılarak Hilbert spektrumu tarafından anlamlı frekans değerleri hesaplanabilecek hale dönüştürülmekte; ikinci aşamada ise Hilbert spektrumu kullanılarak bileşenlerin frekans ve enerji yapısı tespit edilmektedir.

2.2.1. EMD Yöntemi

Yukarıda kısaca belirtilen yöntemler durağan olmayan veri setlerinde kullanılmasına rağmen doğrusal ayrıştırma prensibine dayanmaktadır. Dalgacık analizi doğrusal verilerde kullanılabilir. Bununla birlikte, klasik Fourier analizi doğrusal ve aynı zamanda durağan zaman serilerinde anlamlı bileşenler oluşturabilmektedir. Fourier analizini kullanan diğer yöntemler de Fourier kısıtlarından etkilenmektedir.

Durağan olmayan ve doğrusal olmayan dinamikler içeren veri seti için kullanılabilir yöntem Hilbert Huang Dönüşümü'dür (HHT). HHT temel olarak iki aşamalı yöntemdir. Birinci aşamada veri seti Empirical Mode Decomposition (EMD) yöntemiyle bileşenlerine ayrılır. İkinci aşamada ise söz konusu bileşenler Hilbert dönüşümüne tabi tutularak anlamlı anlık frekans hesaplanır. Klasik frekans-zaman analizi yöntemlerinin aksine; HHT yöntemiyle anlamlı ve anlık, diğer bir ifadeyle zamana bağlı değişen, frekans hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla, HHT, zamana

bağlı değişen frekans değerlerinin elde edilmesini başarmıştır. HHT yönteminin birinci aşması anlık frekans hesabı açısından kritik öneme sahiptir.

Özet olarak EMD, farklı içsel zaman skalasına bağlı olarak ortaya çıkan enerjinin doğrudan ayrıştırılmasına dayanmaktadır. EMD, zaman serisini İçsel Salınım Fonksiyonlarına (Intrinsic Mode Function - IMF) ayrıştırmaktadır. IMF, Hilbert dönüşümünün doğru sonuç vermesi açısından gerekli tüm niteliklere sahiptir. Dolayısıyla, zaman serisini etkileyen olaylar, HHT yöntemi kullanılarak, frekans - zaman boyutlarında tespit edilebilmektedir. IMF, yerellik ve uyarlanabilirlik özellikleri göstermektedir. Yerellik ve uyarlanabilirlik doğrusal olmayan ve/veya durağan olmayan zaman serilerinin analizi için gerekli ön koşullardır. Çünkü söz konusu koşullara sahip analiz yöntemi serideki dinamiklerden kaynaklanan dalgalanmaları yansıtan fiziksel (diğer bir ifade ile zaman serisini oluşturan/yönlendiren dinamikleri ifade eden) zaman skalalarını ortaya çıkarabilmektedir. Hilbert dönüşümü kullanılarak IMF'lerden elde edilen yerel anlık frekans ve enerji değerleri, zaman serisine ilişkin gerçek enerji-frekans-zaman dağılımının oluşturulmasını mümkün kılar. Sonuç olarak elde edilen Hilbert spektrumu, doğrusal olmayan ve durağan olmayan zaman serilerinin analizini mümkün kılar (Huang ve diğerleri, 1998: 906).

Fiziksel olarak anlamlı anlık frekans için gerekli kısıtlar; fonksiyonun yerel sıfır ortalamaya göre simetrik olması ile eşit sayıda uç ve sıfır-geçiş noktasına sahip olmasıdır.

IMF, kısaca iki temel koşulu sağlayan fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu koşullar: 1) tüm veri seti dahilinde, uç ve sıfır-geçiş noktalarının sayısı eşit ya da aralarındaki fark en fazla bir olmalıdır. Bu nedenle fonksiyonun dar bant genişliğine sahip olma kısıtı sağlanmış olmaktadır. 2) her hangi bir veri noktasında, yerel maksimum ve yerel minimum noktaları ayrı ayrı kullanılarak oluşturulan zarf fonksiyonlarının ortalaması sıfır olmalıdır. Böylece, genel kısıt yerine yerel bir kısıt uygulanmakta ve dolayısıyla söz konusu kısıt sağlanarak anlık frekans değerlerinin, asimetrik dalga yapılarından kaynaklanan ve istenmeyen frekans dalgalanmalarından

arındırılması mümkün olmaktadır. İdeal olarak, söz konusu kısıt; verinin yerel ortalamasının sıfır olmasını ifade eder; ancak durağan olmayan verilerde yerel ortalama hesaplanabilmesi için yerel zaman skalasının kesin belirlenmesi gereklidir ki bu imkansızdır. Bu nedenle, yerel ortalama yerine yerel maksimum ve minimum noktalarından geçen zarf fonksiyon değerlerinin ortalaması kullanılmaktadır. Anlık frekansın hesaplanabilmesi için gerekli kısıtlar sadece veri seti IMF bileşenlerine ayrılması durumunda sağlanabilmektedir. Bu nedenle, anlık frekans hesaplanmasının birinci aşaması, temelde IMF ayrıştırma sürecini ifade eden, EMD yönteminin uygulanmasıdır (Huang ve diğerleri, 1998: 915).

Teorik olarak veri setine Hilbert dönüşümünü kullanılarak anlamlı anlık frekans elde edilebilmesi için veri setinin IMF özelliği göstermesi gerekmektedir. Ancak veri setlerinin çoğu IMF fonksiyonlarının sahip olduğu özelliklere sahip olamamakta ve karmaşık bir yapı içermektedirler. Herhangi bir zaman noktasında veri seti, birden çok salınım içerebilir. Veri setinin barındırdığı salınımlar ayrıştırılarak IMF fonksiyonları elde edilmelidir. EMD, doğrusal olmayan ya da durağan olmayan veri setlerini IMF'lere ayırmak için geliştirilen bir yöntemdir. Çoğu veri analiz yöntemlerinin aksine, EMD direkt veri setinin içindeki salınımları ayırtmaya yönelik uyarlanabilir, önsel ve veri odaklı bir yöntemdir.

Herhangi bir finansal veri setinin görsel analizi sonucunda veri setinde farklı zaman skalaları olduğu kolaylıkla görülebilir. Başka bir deyişle, Ardışık yerel maksimum - minimum noktaları arasındaki zaman periyotları ile ardışık yerel sıfır kesişme noktaları arasındaki zaman periyotlarının birbirinden farklı olması; verinin farklı skalalara sahip dinamiklerden kaynaklanan salınımlardan oluştuğunu gösterir. İç içe geçmiş yerel uç noktalarla sıfır-geçiş noktaları karmaşık veri setini oluşturmaktadır. Diğer bir ifade ile dalgalanmalar birbirleriyle iç içe geçerek karmaşık görünen titreşimleri oluşturmaktadırlar. Dolayısıyla, salınımların özelliklerini belirleyen zaman skalası, ardışık uç ya da sıfır-geçiş noktaları arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanabilir. Zaman skalalarının ayrıştırılabilir hale gelmesiyle, sıfır ortalamaya sahip olmayan veri setleri için de EMD yöntemi

kullanılabilir hale gelmekte ve salınımlar daha etkin olarak hesaplanabilmektedir (Huang ve diğerleri, 1998: 917).

EMD yöntemi üç temel varsayıma dayanmaktadır: 1) veri seti ya da sinyal en azından iki adet uç nokta - bir minimum ve bir maksimum olmak üzere - içermektedir. 2) verideki salınının özellikleri uç noktalara arasındaki zaman aralığı - yani karakteristik zaman skalası tarafından belirlenmektedir. 3) eğer veri seti uç nokta ihtiva etmemesine karşın bükülme noktalarına sahipse, veri seti bir ya da daha fazla ayrıştırma işlemine tabi tutularak uç noktalar ortaya çıkarılabilir. Yöntemin temelini içsel salınımların karakteristik zaman skalaları yardımıyla ampirik olarak tespit edilerek veri setinin IMF bileşenlerine ayrıştırılmasını oluşturur (Huang ve diğerleri, 1998: 917).

Ayrıştırma işlemi, "eleme süreci (sifting process)" olarak adlandırılmıştır. EMD, yerel maksimum ve minimum noktaları ayrı ayrı kullanılarak oluşturulan zarf fonksiyonları aracılığıyla bileşenleri ayrıştırmaktadır. Veri setindeki yerel maksimum noktaları tespit edildikten sonra söz konusu noktalar kübik eğri fonksiyonu kullanılarak birleştirilir ve üst zarf fonksiyonu oluşturulur. Aynı işlem yerel minimum noktaları için de gerçekleştirilerek alt zarf fonksiyonu oluşturulur. Üst ve alt zarf fonksiyonları tüm veri noktalarını kapsamalıdır. Üst ve alt zarf fonksiyonlarının ortalaması, m_1 , her bir zaman noktası için hesaplanır. Veri ve m_1 arasındaki fark birinci bileşeni, h_1 , oluşturmaktadır. Bu aşama aşağıdaki gibi gösterilir:

$$X(t) - m_1 = h_1 \quad (2.17)$$

İdeal olarak, h_1 , IMF niteliklerine sahip olması gerekir; ancak elde edilen zarf fonksiyonlarının veri setindeki noktaların altında ya da üstünde kalmalarından ötürü yeni uç noktalar meydana gelebilmekte, var olan uç noktayı ötelemekte ya da büyütebilmektedir. Ancak, söz konusu etkiler dolaylı niteliktedir çünkü zarf fonksiyonlarından ziyade fonksiyonların ortalaması eleme sürecinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, veri serisinde görülen hafif bükülmeler yerel uç

nokta haline gelebilir. Ortaya çıkan yeni uç nokta veri setinin içinde yer alan gizli salınımların ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, eleme süreci IMF fonksiyonlarına sahip bileşenler elde edilmesi için birden fazla tekrar edilmelidir. İkinci eleme sürecinde, veri setinin yerine h_1 eleme sürecine tabi tutulur ve birinci aşamaya benzer biçimde aşağıdaki denklem elde edilir:

$$h_1 - m_{11} = h_{11} \quad (2.18)$$

Tüm pozitif yerel maksimum değerleri sıfır değerinin üzerinde gerçekleşen; aynı şekilde tüm yerel minimum noktaları sıfır değerinin altında gerçekleşen ve simetrik yapıya sahip IMF elde edilinceye kadar eleme sürecinin k defa tekrar edilmesi sonucunda ilk IMF bileşeni h_{1k} aşağıdaki gibi gösterilir:

$$h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k} \quad (2.19)$$

$$c_1 = h_{1k} \quad (2.20)$$

Eleme süreci sayesinde birbirinden farklı genliğe sahip salınımlar birbirinden ayrılarak anlamlı anlık frekans değerleri hesaplanabilmekte ve verideki dinamikler gözle görülür hale gelmektedir. Elde edilen birinci IMF, c_1 , veri setindeki en yüksek frekans değerlerine diğer bir deyişle en düşük periyotlara sahip bileşendir. Eleme sürecinden sonra elde edilen ilk IMF bileşeni veri setinden çıkarılarak aşağıda ifade edilen kalıntı elde edilir (Huang ve diğerleri, 1998: 920):

$$X(t) - c_1 = r_1 \quad (2.21)$$

r_1 , c_1 'den daha uzun periyota sahip salınımları içinde barındırmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu salınımları da ortaya çıkarmak için r_1 , veri seti gibi düşünülerek yukarıda belirtilen eleme sürecine tabi tutulur. Süreç sonunda n adet IMF fonksiyonu ayrıştırılır:

$$\begin{aligned}
r_1 - c_2 &= r_2 \\
r_2 - c_3 &= r_3 \\
&\dots \\
r_{n-1} - c_n &= r_n
\end{aligned}
\tag{2.22}$$

Yukarda belirtilen eleme süreci; r_n ya da c_n IMF elde edilemeyecek kadar küçük değerlere sahip olduğunda veya r_n IMF elde edilemeyecek monoton fonksiyon oluncaya kadar devam etmelidir. r_n , trend ya da sabit değerli fonksiyon olabilir. EMD yönteminin sonunda veri IMF bileşenlerine ve trend ya da sabit değerli fonksiyona ayrıştırılmıştır:

$$X(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n
\tag{2.23}$$

EMD yönteminin uygulanabilmesi için veri setinin her hangi bir ortalama değerine ya da sıfır referans değerine sahip olması gerekli değildir; yerel uç noktaların varlığı yeterli koşuldur. Her bir IMF için sıfır referans değeri eleme süreci ile doğrudan oluşur. Dolayısıyla EMD, ortalama değer seriden ayrıştırılması gibi her hangi bir dış müdahaleye gerek duymaz (Huang ve diğerleri, 1998: 921).

Yukarıda belirtildiği üzere, karakteristik zaman skalaları önceden belirlenmiş fonksiyonlar yerine, serinin kendi doğasına uygun olarak - yerel uç noktalar kullanılarak - belirlendiği için IMF fonksiyonları serinin fiziksel dinamiklerini yansıtmaktadır.

EMD yöntemi yukarıda belirtildiği gibi karakteristik skalaların ayrıştırılmasını dayanır. Dolayısıyla, karakteristik skala kavramının anlaşılması oldukça önemlidir.

2.2.1.1. Karakteristik Skala

EMD yöntemi serinin içerdiği karakteristik skalarının ayrıştırılmasına dayanır. Genel olarak zaman skalası belirli noktalar arasındaki zaman aralığıdır. İstatistiksel olarak tanımlamak gerekirse; herhangi bir veri seti, $x(t)$, için sıfır-geçiş zaman skalası $x(t) = 0$ eşitliğini sağlayan t , yani zaman, noktaları arasındaki farktır. Uç değer zaman skalası ise $x(t)' = 0$ eşitliğini sağlayan noktalar arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Fakat, bu tanımlar veri setinin bütününde anlam ifade eden, yani genel, tanımlamalardır. Doğrusal olmayan ya da durağan olmayan verilerde yukarıdaki tanımlar kullanılamaz (Huang ve diğerleri, 1999: 421).

Serinin dinamiklerini ortaya çıkarmak amacıyla genel yerine yerel zaman skalaları tanımlanmalıdır. Seriyeye yön veren dinamikler bir uç noktadan diğerine seriyeyi yönlendirmektedirler. Bu nedenle ardışık uç noktalar arasındaki zaman aralığına - yerel ve kendine özgü dinamiklerin veri üzerindeki etkisini içermesi nedeniyle - karakteristik zaman skalası adı verilir. EMD yönteminde karakteristik zaman skalası kullanıldığı için IMF fonksiyonları fiziksel olarak anlamlıdır.

EMD yönteminin etkin olarak uygulanabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Temel olarak bu noktalar eleme sürecine ilişkin olup sürecin amacına uygun olarak işlenmesini ve doğru bileşen serilerinin elde edilmesini sağlar. Söz konusu parametrelerin tümü kısaca eleme süreci parametreleri olarak adlandırılır.

2.2.1.2. Eleme Süreci Parametreleri

Eleme sürecinin dört temel parametresi vardır: 1) sürecin durmasına ilişkin ölçüt. 2) eleme sürecinin yapılabileceği maksimum yineleme sayısı. 3) periyodiklik (intermittency) kriterinin uygulanmasına ilişkin karar. 4) zarf fonksiyonunun oluşturulması için gerekli maksimum noktaların yerel olarak seçilmesi ya da kıvrım (curvature) noktalarının kullanılması (Huang ve diğerleri, 2003b: 2320).

Eleme sürecinin avantajları yanında bir de yan etkisi vardır. Eleme süreci çok fazla tekrar edilirse salınım hareketinin barındırdığı genlik değişimi ortadan kalkarak eşit genlikli salınım hareketi haline gelir. Dolayısıyla elde edilen IMF, veri setinin içerdiği dinamikleri barındıramaz. Eleme sürecinin avantaj ve dezavantajlarını dengeleyecek şekilde yineleme sayısı - matematiksel olarak makul sınırlar içinde - mümkün olduğunca küçük seçilmez ki EMD yönteminin uyarlanabilir yapısı korunabilsin (Huang ve diğerleri, 2003b: 2321).

Eleme sürecinin durdurulmasına ilişkin kriterlerden birincisi Cauchy yakınsama kriteridir. Bu kritere göre eleme süreci, ardışık eleme sonuçları arasındaki farkın dışsal ve önceden belirlenen limit değerinden küçük olduğunda sona ermektedir (Huang ve diğerleri, 2003b: 2321). Kısaca söz konusu kriter, ardışık eleme sonuçları kullanılarak hesaplanan standart sapmanın önceden belirlenen limit değeriyle karşılaştırılmasına dayanır. Standart sapma, SD, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$SD = \sum_{t=0}^T \left[\frac{|h_{1(k-1)}(t) - h_{1k}(t)|^2}{h_{1(k-1)}^2} \right] \quad (2.24)$$

SD değerinin 0,2 ya da 0,3 alınması yeterlidir (Huang ve diğerleri 1998: 920). Bu yaklaşımın zayıf yanı kriterin IMF tanımıyla ilişkili olmamasıdır; sadece ardışık IMF'ye aday değerlerin yaklaşık olarak yakın olup olmamasına dayanır (Huang ve diğerleri, 2003b: 2321).

Eleme sürecinin durdurulmasına ilişkin ikinci kriter ise; "S" adet ardışık yineleme sonunda, sıfır-geçiş ile uç nokta sayılarının eşit olması durumunda sürecin durmasını ifade eder ve S sayısı süreç için sınır oluşturur. Genel olarak, teorik ve mühendislik alanında uygulamaya dayalı çalışmalar göstermiştir ki $3 \leq S \leq 5$ aralığında başarılı eleme süreci gerçekleştirilebilir (Huang ve diğerleri, 2003b: 2322).

Eleme sürecinin durdurulması konusunda Wu ve Huang (2004), eleme sürecinin veriden bağımsız olarak 10 kez yapılmasının yeterli olacağını

savunmuşlardır. Yapılan çalışmalar sonunda 10 kez tekrarlanan eleme süreci sonunda IMF seti sıfır ortalamaya göre simetrik olmaktadır.

Maksimum yineleme sayısı, " M ", aşırı yineleme olmaması ve yinelemenin sürekli tekrar etmesinin önlenmesi açısından önemlidir. Belirlenen " S " kriterinin gerçekleşmesini sağlayacak bir M sayısının belirlenmesi eleme sürecinin gerçekleşmesi açısından önemlidir.

Eleme süreci sonunda elde edilen IMF'lerde nadiren birden fazla dinamik içerebilmektedir. Bu durum EMD sürecinden ya da serinin özelliklerinden kaynaklanabilmektedir. Salınım karışması (mod mixing) olarak adlandırılan bu durum temel olarak farklı zaman skalalarının tek bir IMF içinde yer almasıdır. Dolayısıyla, söz konusu IMF ayrıştırılması sürecinde gerçeği yansıtmayan anlık frekans hesaplanmasına yol açar. Periyodiklik kriteri, IMF ayrıştırılmasında dışsal olarak belirlenen ve salınımın sahip olabileceği maksimum periyot değerini ifade etmekte olup salınım karışması sorununun önlenmesinde kullanılabilir yöntemlerden biridir. Belirlenen değerden daha kısa periyoda sahip salınımların söz konusu IMF'ye ekleneceğini ifade eder. Ardışık uç noktalar arasındaki uzaklığın periyodiklik kriteri değerinden büyük olması durumunda ise söz konusu veri noktası için aralığın ortalaması IMF hesaplanması sürecine dahil edilir. Bu kriterin uygulanması oldukça dikkat gerektirmektedir. Sadece güçlü teorik gerekçelerin varlığı durumunda bu kriter önsel olarak belirlenebilir. Önsel kısıt belirlenmesi yerine önce EMD süreci gerçekleştirilmeli; daha sonra ise elde edilen IMF setinde güçlü salınım karışması olgusuna ait belirtiler görülmesi halinde seriye uygun kriter belirlenerek tekrar EMD süreci gerçekleştirilmelidir. Bu noktada belirtmek gerekir ki salınım karışması ve periyodiklik olgularına ilişkin çalışmalar sonucunda Ensemble -EMD (EEMD) modeli geliştirilmesini olanaklı kılmıştır. Periyodiklik kriteri yerine güçlü salınım karışması karşısında EEMD metodunun kullanılması en sağlam yoldur. (Huang ve diğerleri, 2003b: 2324).

Zarf fonksiyonunun hesaplanması için gerekli uç noktalar yerel olarak ya da kıvrım hesaplanarak bulunabilir. Teorik olarak kıvrım, veri setinin içerdiği hafif

büküm noktalarına karşı daha hassas bir yöntemdir (Huang ve diğerleri, 2003b: 2327). Veri seti hafif şiddete sahip bükülmeler ya da zayıf dalgalanmalar barındırabilir. Lokal uç nokta yaratmayan fakat kıvrımda değişim meydana getiren zayıf dalgalanmalara "gizli skala (hidden scale)" adı verilir. Gizli skalaların ortaya çıkarılabilmesi için kıvrım fonksiyonu kullanılabilir. Basit olarak ivmenin şiddetindeki değişime kıvrım denir. Matematiksel olarak ise kıvrım birim tanjant vektöründeki değişim oranının şiddeti olarak tanımlanıp aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\frac{X(t)''}{[1 + (X(t)')^2]^{3/2}} \quad (2.25)$$

Kıvrımın işaretindeki değişim sisteme etki eden kuvvetin işaretinin değiştiğini ifade eder (Huang ve diğerleri 1999: 422). Söz konusu büküm noktaları gizli zaman skalalarından olabileceği gibi serideki gürültüden de kaynaklanabilir. Gürültü içeren verilerde türev işlemi gürültüyü artırıcı etki gösterebilmekte ve yüksek dereceli türev işlemi söz konusu gürültüden etkilenebilmektedir. Bu nedenle yerel uç noktalar kullanılarak zarf fonksiyonunun hesaplanması birinci tercih olmalıdır (Huang ve diğerleri, 2003b: 2327).

2.2.1.3. Veri Bitiş Etkisi (End Effect)

EMD yönteminde, serinin başlangıç ve sonunda meydana gelebilecek eleme sürecinden kaynaklanan yapay dalgalanmaların engellenmesi amacıyla doğrusal ekstrapolasyon kullanılabilir. EMD yönteminde eğri fonksiyonu yerel uç noktalardan geçmektedir. Serinin başlangıç ya da bitiş noktasında uç nokta olmaması durumu eğri fonksiyonda yapay değişiklikler meydana getirebilir. Doğrusal ekstrapolasyon kullanılarak EMD yönteminin yerellik özelliği korunmuş olur çünkü doğrusal ekstrapolasyon sadece iki adet minimum ya da maksimum noktaya ihtiyaç duymaktadır ve veriye ilişkin genel değerlerin kullanılması gerekmemektedir (Wu ve Huang, 2009: 36).

Özetlemek gerekirse IMF, verinin içerdiği salınım modunu gösteren bir fonksiyondur. Sıfır-geçiş noktalarıyla belirlenen çevrimlerde (cycles) sadece tek bir salınım yer almaktadır ve iç içe geçmiş dalgalar içermez. Bu nedenle veriden elde edilen her bir IMF farklı bir salınım yapısını ihtiva eder (Huang ve diğerleri, 1998: 906).

2.2.2. Hilbert Spektrum

IMF bileşenlerinin elde edilmesinin ardından anlamlı anlık frekans değerlerinin hesaplanabilmesi için Hilbert dönüşümü uygulanabilir. Hilbert dönüşümü aracılığıyla veri seti aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n a_j(t) e^{i \int \omega_j(t) dt} \quad (2.26)$$

burada EMD süreci sonunda elde edilen kalıntı değer özellikle dönüşüm denklemine eklenmemiştir çünkü kalıntı değer, trend veya sabit fonksiyon niteliğindeki bileşendir ve salınım içermez. IMF bileşenlerinin veri setinden ayrıştırılarak Hilbert dönüşümü uygulanması sonucunda bileşenlerin anlık frekans ve genlik değerlerinin hesaplanması mümkün olmaktadır; dolayısıyla, anlık frekans ve genlik değerlerinin üç boyutlu grafiksel analizi de mümkün olmaktadır. Bu analiz yönteminde, zaman fonksiyonu olan genlik değerleri frekans-zaman düzleminde grafik haline getirilebilmektedir. Söz konusu genlik değerlerinin frekans-zaman dağılımına Hilbert genlik spektrumu, $H(\omega, t)$, ya da kısaca Hilbert spektrumu denmektedir. Genlik yerine enerji değerlerinin kullanılması durumunda ise Hilbert enerji spektrumu elde edilir. Hilbert spektrumun yanında marjinal Hilbert spektrumu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$h(\omega) = \int_0^T H(\omega, t) dt \quad (2.27)$$

Marjinal Hilbert spektrum, olasılık mantığı içinde birikimli genlik değerlerini içermektedir. Dolayısıyla, marjinal Hilbert spektrumundaki frekans verileri sadece

söz konusu frekansı içeren dalgalanmanın olasılık dağılımını gösterirken dalgalanmanın kesin zaman aralığını ise Hilbert spektrum göstermektedir (Huang ve diğerleri, 1998: 930).

Veri setinin IMF bileşenlerine ayrıştırılarak Hilbert spektrumun hesaplanmasının en büyük avantajı diğer frekans analiz yöntemlerinin aksine sahte harmonik bileşenler (spurious harmonic components) içermemesidir. Çünkü sahte bileşenler doğrusal olmayan ya da durağan olmayan verinin doğrusal analiz yöntemleriyle analiz edilmesi sonucunda ortaya çıkan ve spektrum etkinliğini azaltan bileşenler olup fiziksel anlamları yoktur. Buna karşın, Hilbert spektrum analizi, IMF bileşenlerine uygulandığında temel frekans bileşenlerinin yanında salınım-içi frekans modülasyonunun (intra-wave frequency modulation) da analiz edilmesine olanak sağlamakta ve söz konusu değişimler fiziksel olarak anlamlı olup doğrusal olmayan dinamiklerden kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle Hilbert spektrumunda görülen frekans dalgalanmaları frekans modülasyonu (FM) göstergesi olup doğrusal olmayan dinamiklerin varlığına işaret eder. Serinin doğrusal olmaması, salınım-içi frekans modülasyona sebep olurken; durağan olmaması ise salınım-arası frekans modülasyonuna (inter-wave frequency modulation) sebep olmaktadır.

Daha önce belirtildiği üzere Fourier dönüşümü en yaygın olarak kullanılan dönüşümlerin başında yer almaktadır. Dolayısıyla, Fourier spektrumu da frekans zaman analizi açısından önemli olmakla birlikte uygulanabilmesi için bazı koşulların varlığına ihtiyaç duymaktadır. Fourier dönüşümün veri setine uygulanabilmesi için verinin periyodik ve uzun dönemli olması da gerekmektedir. Fourier dönüşümü uygulama açısından bazı dezavantajları bulunmaktadır. Fourier dönüşümü, veriyi zaman boyutundan frekans boyutuna sabit genlik ve frekansa sahip trigonometrik fonksiyonlar kullanarak taşımaktadır. Frekans boyutunda ise zaman olgusu ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla, zamana bağlı değişen olguları ifade eden özellikler -örneğin doğrusal olmama ve durağan olmama - Fourier dönüşümünün uygulanmasını söz konusu özelliklerin modellenmesi açısından pratikte imkansız hale getirmektedir. Fourier dönüşümünün doğrusal olmayan ya da durağan olmayan serilerin dönüşümünde kullanılması durumunda dönüşüm çok fazla harmonik bileşene ihtiyaç

duymaktadır (Huang ve diğeri, 1999: 451). Bu bileşenler yapay olmakla birlikte enerjinin oldukça geniş bir aralığa yayılmasına neden olarak doğru frekans analizi yapılabilmesi olanaksız hale gelir. Veri setinin toplam enerjisi tekdüze dağılırken her bileşenin enerjisi düşük olmaktadır. Bu durum doğrusal olmayan ya da durağan olmayan serilerin analizinde hatalı sonuçlara yol açabilir. Kısaca Fourier analizi verinin durağan olmaması durumunda sahte harmonik fonksiyonlara; doğrusal olmaması durumunda ise yüksek frekanslı harmonik fonksiyonlara ihtiyaç duyar (Huang ve diğeri, 1999: 451).

Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerde salınım-içi frekans değişimleri harmonik fonksiyonlar ile ifade edilmektedir. Söz konusu fonksiyonlar yapay olup çok az fiziksel anlam içermektedirler çünkü harmonik fonksiyonların yapıları baz fonksiyona göre değişmektedir.

Klasik frekans analizlerinde gerekli olan yapay harmonik fonksiyonlar HHT yönteminde gerekli değildir; ayrıca belirsizlik prensibinden (uncertainty principle) etkilenmez çünkü HHT analizinde kullanılan evrişim işlemi (convolution) baz fonksiyonlardan bağımsız gerçekleştirilmektedir.

Veri setine doğrudan Hilbert dönüşümü uygulanarak zaman-frekans-enerji dağılımı elde edilebilir. Ancak fiziksel olarak anlamlı anlık frekans elde edilememesinden ötürü söz konusu dağılım fiziksel olarak anlamlı değildir. EMD yöntemiyle anlamlı anlık frekans elde edilerek Hilbert dönüşümü sonucunda elde edilen zaman-frekans-enerji dağılımı fiziksel olarak anlamlı hale gelir. (Wu ve Huang, 2009: 2)

HHT analizinde frekans-zaman grafiğinin doğruluğu EMD bileşenlerinin etkin biçimde ayrıştırılmasına bağlıdır. Uygulamada, bazı IMF fonksiyonlarının birden fazla dinamiği içerdiğinin tespit edilmesinden sonra HHT analizinde bazı yenilikler geliştirilmiştir. Bu yeni modellerin açıklanmasından önce periyodiklik-yani salınım karışması- olgusunun detaylı biçimde tanımlanması gerekmektedir.

2.2.2.1. Periyodiklik ve Salınım Karışması

Periyodiklik temel olarak dinamik bir sistemin yapısında meydana gelen periyodik bozulma ya da dinamiğin periyodik biçimde kesintiye uğraması olarak tanımlanabilir. Dinamik sistemdeki görülen periyodik bozulmalar farklı dinamiklerin birbirleriyle etkileşimlerinden kaynaklanabilir. Dolayısıyla, periyodiklik olgusunu EMD perspektifinden incelediğimizde, periyodiklik salınımların karışmasına yol açmaktadır. Başka bir ifadeyle, IMF iki farklı karakteristik zaman skalası yani iki temel periyot içermesi sonucunda periyodiklik ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, belli bir dinamiğin etkisiyle meydana gelen salınım hareketinde bölgesel olarak farklı periyot ortaya çıkması, fonksiyonun fiziksel olarak yorumlanmasını imkansız hale getirmektedir (Huang ve diğerleri, 2003b: 2324).

Salınım karışması olgusunun önlenmesi amacıyla farklı periyotlara sahip salınımların birbirlerinden ayrıştırılmasını sağlayacak ve periyot uzunluğunu temel alan kriter belirlenebilir. IMF bileşenine eklenecek dalgaların periyoduna ilişkin üst sınırın dışsal olarak belirlenmesi bu yöntemin temelini oluşturur. Ancak, dışsal olarak belirlenen bu kriter EMD yönteminin uyarlanabilir ve ampirik olma özelliklerini ortadan kaldıracabileceği gibi IMF bileşenlerinin hatalı olarak ayrıştırılabilmesi olasılığını ortaya çıkarır. Dolayısıyla EMD yönteminde kullanılacak periyot kriterlerinin dışsal olarak belirlenmesi dikkatli olarak uygulanması gereken bir yöntemdir. Periyodiklik yöntemi yerine Ensemble EMD (EEMD) yöntemi geliştirilmiştir.

Periyodiklik, IMF setine ilişkin zaman-frekans dağılımında "frekans katlanması (aliasing)" meydana getirebilir. Frekans katlanması, farklı sinyallerin birbirinden ayırt edilememesine yol açan etki olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle frekans katlanması, spektrumu oluşturan bileşenlerin birbirlerinden yeterince ayrışamaması sonucunda yüksek frekanstaki bilgilerin diğer frekanslara sızarak spektrumun bozulmasını ifade eder. Dolayısıyla, frekans katlanması etkisiyle elde edilen IMF setinde bozulmalar meydana gelerek IMF setinin fiziksel olarak

yorumlanabilirliğini de azaltabilir. Sonuç olarak, seride periyodiklik olması durumunda EMD yöntemi dikkatli biçimde uygulanmalıdır (Wu ve Huang, 2009: 1).

Periyodiklik ölçütünün dışsal olarak belirlenmesine dayanan yaklaşımın dezavantajlarını kısaca özetlemek gerekirse; öncelikle söz konusu test sübjektif olarak belirlenen zaman skalasına göre gerçekleştirilmektedir. Dahası seçilen skala ölçütü, sadece açık biçimde görülebilen veya tanımlanabilir zaman skalalarının var olmaları halinde başarılı olabilir. Aksi durumda, yani veri seti boyunca süregelen biçimde birbirine karışarak ayırt edilemeyen nitelik kazanmış olan periyodiklik durumunda test başarılı olamayabilir (Wu ve Huang, 2009: 2).

Periyodiklik sorununu sübjektif nitelikli periyodiklik kriteri belirleme yaklaşımına başvurmadan çözmek amacıyla EEMD yöntemi geliştirilmiştir. EEMD, beyaz gürültü (white noise) serisinin istatistiksel özelliklerini inceleyen çalışmalardan elde edinilen bulgulardan yola çıkılarak geliştirilmiştir. EEMD yönteminde, nihai IMF seti, incelenen veri setine her defasında beyaz gürültü eklenerek tekrarlanan EMD denemelerinin sonucunda oluşan set grubunun ortalamasından elde edilir.

Kısaca belirtmek gerekirse, EEMD yönteminin dayandığı temel prensip; veri setine eklenen beyaz gürültü serisinin, frekans-zaman boyutunda veri setinin tümüne nüfuz ederek farklı karakteristik zaman skalalarının ayrışmasına yol açmasıdır. Diğer bir ifadeyle uniform dağılan beyaz gürültü serisi bir taban ya da referans doğrusu olarak düşünülmesi halinde üstüne eklenen sinyalin farklı zaman skalasına sahip bölümleri, sahip olduğu dinamiklere uygun olan skalalara yansiyacaktır. Her bir deneme gürültü içeren sonuçlar üretse dahi, farklı beyaz gürültü serisi kullanılarak yeterli deneme gerçekleştirildikten sonra her bir denemede kullanılan beyaz gürültü serileri, grup ortalaması alınarak kolaylıkla ortadan kaldırılabilir. Süreç sonunda grup ortalaması alınan IMF setleri, periyodik özelliği yok edilmiş setler olmaktadır. Beyaz gürültü serisinin EEMD yöntemindeki işlevini basit olarak ifade etmek gerekirse; sinyalde ihmal edilebilir bozulmalar yaratıp tüm olası sonuçların EMD yöntemi tarafından hesaplanmasını sağlamaktır. Ayrıca gürültü serisinin

ortalaması sıfır olmasından ötürü fazla sayıda EMD denemesi kullanılarak grup ortalaması alınması sonucunda gürültü serisinin ortalamadaki etkisi ortadan kalkmaktadır (Wu ve Huang, 2009: 2).

Yukarıda ifade edildiği üzere EEMD yöntemi beyaz gürültü serileri üzerine yapılan çalışmalar sonunda geliştirilmiştir. Bununla birlikte, söz konusu çalışmalar; IMF setlerinin anlamlılığını test etmek amacıyla "anlamlılık testlerinin" geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

2.2.2.2. Gürültü ve Anlamlılık Testi

Sistem ya da veri setlerinin tümünde kaçınılmaz olarak az ya da çok gürültü bulunmaktadır. Sonuç olarak, elimizdeki veri seti, dinamikleri barındıran "gerçek" veri ve gürültüden oluşmaktadır:

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (2.28)$$

burada $x(t)$ veri setinin kendisini, $s(t)$ sadece dinamikleri barındıran gerçek veriyi, $n(t)$ ise gürültüyü ifade eder. Veri seti, gürültü ile bozulduğunda ikisini birbirinden ayırtmak oldukça zordur. Pratikte Fourier filtreleri kullanılarak veri ve gürültü birbirinden ayrılmaya çalışılmaktadır, ancak söz konusu filtreler verinin doğrusal olmaması ya da durağan olmaması durumunda başarısız olmaktadır (Wu ve Huang, 2004: 1597).

EMD yöntemi açısından gürültü ele alındığında, gürültü ve veri setinin aynı zaman skalasında iç içe geçmelerinden dolayı, zaman skalasını temel alan EMD yöntemi de -geçmişte- gürültünün gerçek seriden ayrıştırılması noktasında güçlükle karşılaşmaktaydı. Söz konusu güçlüğün ortadan kaldırılmasındaki kritik nokta veri seti ya da elde edilen IMF'nin gürültü özelliği taşıyıp taşımadığının ya da diğer bir deyişle anlamlı bilgi taşıyan bir fonksiyon olduğunun tespit edilebilmesidir. Böylelikle elde edilen IMF bileşenlerinin gerçekliği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Normal ve tekdüze dağılımlı beyaz gürültü serisinin özelliklerinin

incelenmesi sonucunda Wu ve Huang (2004), IMF serisinin istatistiksel olarak beyaz gürültü serisinden farklı olup olmadığını sınavacak "anamlılık testini" ve söz konusu testin güven aralığını oluşturmuşlardır. Testin geliştirilmesindeki kritik nokta beyaz gürültü serisinin özellikleridir.

Beyaz gürültü serisinin bilinen istatistiksel özellikleri serinin ortalamasının sıfır, varyansının sabit ve *iid* dağılıma sahip olmasıdır. Söz konusu özelliklere ek olarak beyaz gürültü serisi frekans analizi açısından incelendiğinde ise beyaz gürültü düz spektral güç dağılımına (power spectral density) sahiptir; yani gürültü serisinin enerjisine ait frekansa bağlı dağılım sabit olmaktadır. Diğer bir deyişle, sinyal belli bir frekans aralığında eşit güce sahiptir. Dolayısıyla, beyaz gürültü serisinin Fourier dönüşümüne tabi tutulması sabit fonksiyon meydana getirir. Sinyale ilişkin otokorelasyon fonksiyonu delta fonksiyonu biçiminde olup serinin hareketi tahminlenemez. Ayrıca beyaz gürültü serisi normal dağılımdan başka dağılıma da sahip olabilir çünkü normal dağılım veriye bağlı olarak oluşan olasılık dağılımının bir türünü ifade ederken serinin beyaz gürültü olması sinyal enerjisinin zaman ya da frekansa göre dağılımını ifade etmekte olup birbirinden farklıdır.

Wu ve Huang (2004), beyaz gürültü serisinin özelliklerini EMD ve Fourier analizleri kullanarak incelemiştir. Beyaz gürültü serisinin EMD yöntemiyle IMF bileşenlerine ayrılması sonucunda her bir IMF bileşenin ortalama periyodunun bir öncekinin iki katı olduğu ve söz konusu IMF'lere ilişkin logaritmik periyod kullanılarak elde edilen Fourier spektrum grafiklerinin hemen hemen aynı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, söz konusu grafiklerin alanları da birbirine eşit olmalıdır. Söz konusu bulgularla birlikte Fourier enerji spektrumunun sabit olduğu bilgisi ışığında IMF'lerin aşağıda tanımlanan enerjilerinin:

$$E_n = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |C_n(j)|^2 \quad (2.29)$$

birbirine eşit ve sabit olduğu bilgisine ulaşılır. Dolayısıyla aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\int S_{\ln T, n} d \ln T = c \quad (2.30)$$

n , n . IMF bileşenini; $S_{\ln T, n}$ n . IMF bileşeninin logaritmik ve zamana bağlı Fourier spektrumunu, c ise herhangi bir sabit sayıyı ifade etmektedir (Wu ve Huang, 2004: 1601). Yukarıda belirtilen denklem, spektrumların birbirine benzediği ve yarı logaritmik zaman - frekans uzayında spektrumların alanlarının birbirleriyle örtüştüğünü ifade etmektedir. Spektrumların enerjiye bağlı olarak yapısını incelemek istediğimizde ise her bir IMF'nin sahip olduğu enerjinin toplam enerjinin IMF sayısına bölümü olduğu gerçeği ışığında aşağıdaki eşitliği kullanabiliriz:

$$E_n = \frac{\text{Toplam Enerji}}{N} \Rightarrow NE_n = \int S_{\omega, n} d\omega \quad (2.31)$$

yukarıda belirtilen toplam enerji frekans cinsinden ifade edilmiştir. Toplam eşitliğin logaritmik zaman skalası cinsinden ifade edersek:

$$NE_n = \int S_{\omega, n} d\omega = \frac{\int S_{\ln T, n} d \ln T}{\bar{T}_n} \quad (2.32)$$

burada \bar{T}_n ortalama periyodu ifade eder. Denklem (2.30) ve (2.32) birleştirildiğinde ise:

$$E_n \bar{T}_n = c \quad (2.33)$$

$$\ln E_n + \ln \bar{T}_n = c \quad (2.34)$$

denklemleri oluşturulabilir. Teorik olarak Denklem (2.32)'ye normalleştirme uygulanması ve n ' in sonsuza gitmesi durumunda ise aşağıdaki denklem elde edilir (Wu ve Huang, 2004: 1602):

$$\ln \bar{E}_n + \ln \bar{T}_n = 0 \quad (2.35)$$

yukarıda ifade edilen Denklem (2.35), IMF'nin enerji yoğunluğu ile ortalama periyodunun hiperbolik fonksiyon oluşturduğunu gösterir.

IMF bileşenlerinin olasılık dağılımı normal dağılıma uymaktadır. Dolayısıyla IMF serilerinin enerji serisi de Ki-Kare dağılımına uymaktadır. Böylece enerjinin dağılımı aşağıdaki denklem yardımıyla gösterilebilir:

$$p(E_n) = N(NE_n)^{(N\bar{E}_n/2)-1} e^{-NE_n/2} \chi_{N\bar{E}_n}^{-2} \quad (2.36)$$

Enerjiye ilişkin dağılımının belirlenmesinden sonra logaritmik enerjiye ait yayılım doğruları belirlenebilir (logaritmik enerjiye ait dağılım formülüne ilişkin detaylı hesaplama için bakınız Wu ve Huang, 2004: 1605). Logaritmik enerjiye ilişkin yayılım doğrusu:

$$\ln E = -\ln \bar{T}_n \pm k \sqrt{\frac{2}{N}} e^{\ln \bar{T}_n/2} \quad (2.37)$$

olarak ifade edilebilir. Burada T serinin uzunluğunu k ise standart normal dağılım kullanılarak belirlenen yüzdelik değerleridir (Wu ve Huang, 2004: 1606). Dolayısıyla, belirli bir yüzdelik değerinde IMF bileşenine ilişkin logaritmik enerji-logaritmik periyot grafiğine ait değerler Denklem (2.37) tarafından belirlenen sınırı aşması durumunda IMF fonksiyonunun serideki dinamiklere ilişkin anlamlı bilgi taşıdığı yani beyaz gürültü özelliği göstermediğini ifade eder.

2.2.2.3. Dyadik Filtre

Yapılan çalışmalar sonunda EMD yönteminin gürültü serisine uygulandığında etkin bir dyadik filtre bankası (dyadic filter bank) olduğu ortaya çıkmıştır. Dyadik filtre, belirli bir bant-geçiş şekline (bant-pass shape) sahip olan bant - geçişli filtre topluluğudur (bant pass filter bank). Bant genişliğinin frekans

aralığı, komşu filtrenin genişliğinin yarısı ya da iki katı olabilir. Bant geçişli filtreler alt ve üst frekans limitleri dışında kalan sinyal bölümlerini geçirmeksizin sadece belirtilen aralıktaki sinyal bölümlerini geçiren filtredir. Dolayısıyla, gürültülü veri setinin barındırdığı benzer skalaya sahip dalgalar filtrelenerek tek bir IMF içinde yer alabilmektedir. Basit bir ifadeyle, EMD yöntemi beyaz gürültü serisinin filtrelenmesini başarıyla gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, her hangi bir veri setine gürültü eklenerek gürültülü hale getirilmesi halinde veri seti EMD kullanılarak filtrelenmesi, her bir salınım hareketi uygun skalalara göre ayrıştırılmasını sağlayacaktır.

Dyadik filtre ve gürültü serisinin EMD yöntemiyle filtrelenmesine ilişkin üç temel çalışma bulunmaktadır. Wu ve Huang (2004) tarafından gerçekleştirilen ve beyaz gürültü serisinin EMD yöntemi uygulanarak gürültü serisi özelliklerini araştıran çalışmanın yanında Gledhill (2003) ve Flandrin ve diğerleri (2005) çalışmaları da EMD yöntemi ve beyaz gürültü ilişkisi açısından oldukça önemli çalışmalardır.

Flandrin ve diğerleri (2005) gerekli uç noktalara sahip olmayan sinyallerin EMD yöntemiyle analiz edilmesinde beyaz gürültü serilerinden faydalanmıştır. Flandrin ve diğerleri (2005) çalışmasında tek uç noktaya sahip olan dirac delta fonksiyonuna gürültü serisi ekleyerek fonksiyonu EMD yöntemiyle ayrıştırılabilir hale getirmiştir. Çalışmada birbirinden farklı gürültü serileri eklenerek 5000 defa EMD yöntemi uygulanmış ve bu uygulama sonunda gerçek veriyi aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır:

$$d[n] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} E\{d[n] + \varepsilon r_k[n]\} \quad (2.38)$$

burada n , n . veri noktasını; $d[n]$ dirac fonksiyonunu, $r_k[n]$ gürültü serisine ilişkin rassal sayıyı, ε son derece küçük (infinitesimal) bir sayıyı ifade eden parametreyi, $E\{\}$ ise beklenen değeri ifade etmektedir.

Gledhill (2003) ise EMD yönteminin güvenilirliğini (robustness) test etmek amacıyla son derece küçük genlikli beyaz gürültü serisi kullanmıştır. Verinin kendisinin doğru olduğu ve referans olabileceği varsayımı altında EMD yönteminin güvenilirliği aşağıda ifade edilen "tutarsızlık" (discrepancy) ölçütü geliştirmiştir:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m \left(\sum_t (cr_j(t) - cn_j(t))^2 \right)^{1/2} \quad (2.39)$$

burada cr_j ve cn_j sırasıyla gürültü eklenmemiş ve eklenmiş j . IMF bileşenini, m toplam IMF bileşen sayısını ifade etmektedir (Gledhill, 2003: 201). Ancak serinin kendisinde periyodiklik olma olasılığını göz ardı edilmiştir. Yukarıda kısaca belirtilen iki çalışma IMF ve gürültü arasındaki ilişkiyi araştıran öncü çalışmalar olmasına rağmen çok küçük genlikli olmayan (finite) gürültü serilerinin grup ortalaması alınırken birbirlerini yok ettikleri tespit edilememiş ve sadece son derece küçük gürültü serisi kullanmışlardır.

Yukarıda ifade edilen çalışmalar sonucunda EMD yöntemi uygulanarak gürültü serisinin bilinmeyen özelliklerinin ortaya çıkması EEMD yönteminin geliştirilmesini sağlamıştır.

2.2.3. EEMD Yöntemi

EMD yöntemi ve gürültü serisi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar ışığında Wu ve Huang (2009) tarafından EEMD yöntemi geliştirilmiştir. EEMD aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

- 1) Veri setine beyaz gürültü serisi eklenir,
- 2) Gürültü eklenmiş veri EMD yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılır,
- 3) Her bir denemede farklı beyaz gürültü serisi kullanılarak 1. ve 2. aşama tekrar edilir,

4) EMD denemeleri sonunda elde edilen IMF setlerinin grup ortalaması alınarak nihai sonuç elde edilir.

Grup ortalaması alınan IMF, dyadik filtre penceresi içinde yer alacağı için periyodiklik ortadan kalkacaktır. Periyodiklik bulaşıcı özellik göstermektedir. Bir IMF fonksiyonunda meydana gelmiş periyodiklik, sonraki IMF'lerde de görülebilmektedir. Ayrıca periyodiklik spektral analizi de bozucu etki göstererek zaman-frekans dağılımını kesikli hale getirmektedir. Dolayısıyla, kısaca yukarıda ifade edilen etkiler EEMD aracılığıyla ortadan kaldırılabilir.

EEMD yönteminde iki parametreye ihtiyaç vardır: 1) Eklenen gürültü serisinin genliği, 2) EMD tekrar sayısı. Eklenen gürültü seri sayısının ve genliğinin yöneme etkisi aşağıdaki istatistiksel kurala göre hesaplanabilir:

$$\varepsilon_N = \frac{\varepsilon}{\sqrt{N}} \quad (2.40)$$

ya da

$$\ln \varepsilon_N + \frac{\varepsilon}{2} \ln N = 0 \quad (2.41)$$

burada N , EMD deneme sayısını, ε_N eklenen gürültü serisinin genliğini, ε ise veri ve veriye ilişkin IMF setinin farkı olarak tanımlanabilen hatanın standart sapmasıdır. Bu nedenle, gürültü serisinin yöneme etkisi, EMD deneme sayısı ve hatanın standart sapmasına bağlıdır (Wu ve Huang, 2009: 24).

Gledhill (2003) ve Flandrin ve diğerleri (2005) çalışmalarından farklı olarak; Wu ve Huang (2009) EEMD yöntemi kullanılarak "gerçek" sinyali aşağıdaki biçimde tanımlamıştır:

$$c_j(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \{c_j(t) + \alpha r_k(t)\} \quad (2.42)$$

burada $[c_j(t) + \alpha r_k(t)]$ toplamı; gürültü serisi eklenmiş sinyalin j . IMF'nin hesaplanması sürecindeki k . denemeyi ifade eder. α gürültü serisinin genliğini, N ise deneme sayısını göstermektedir. Gerçek sinyalin tanımlanmasıyla birlikte Gledhill (2003) çalışmasında geliştirilen "tutarsızlık" ölçütü ise aşağıdaki biçimde yeniden tanımlanabilir:

$$\delta = \sum_{j=1}^m \left(\sum_t (E\{cn_j(t)\} - cn_j(t))^2 \right)^{1/2} \quad (2.43)$$

burada $E[\cdot]$, Denklem (2.42)'de tanımlanan "gerçek" sinyalin beklenen değerini ifade eder (Wu ve Huang, 2009: 31).

Gürültü serisinin sahip olması gereken genlik değerinin çok küçük seçilmesi halinde EMD yönteminin kullandığı uç noktalarda anlamlı değişiklikler gerçekleşemez. Genlik değerinin küçük seçilmesi, özellikle serinin yüksek artış ve azalışlar gösterdiği hallerde geçerlidir. Dolayısıyla, eklenen gürültü serisinin genliği çok küçük olmamalıdır. Buna karşın N sayısı artırıldığında eklenen gürültü serisinin veri üzerindeki nihai etkisi giderek azalarak ihmal edilebilir hale gelir. Genel olarak veri setine ilişkin standart sapmanın 0,1 büyüklüğünde genliğe sahip olması ve yaklaşık 100 EMD denemesinin yapılması EEMD yönteminin etkin çalışması için yeterli olabilir. Ancak borsa fiyat endeksleri gibi finansal zaman serilerinin analizinde yukarıda ifade edilen değerlerin kullanılması oldukça hatalı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla EEMD parametreleri değerleri oldukça dikkatli ve serinin doğasını yansıtacak biçimde seçilmelidir. Gürültü serisinin genlik değerinin çok küçük seçilmemesi durumunda, EMD deneme sayısının çok fazla artırılması sonuçlarda sadece çok küçük değişimler yaratabilir. Bununla birlikte, gürültü serisinin genliği yüksek seçildiğinde ise EMD deneme sayısı da artırılmalıdır böylece eklenen serinin etkisi kontrol altına alınabilir. Eğer veri seti baskın bir frekans sahip sinyal içeriyorsa gürültü genliği dikkatli

seçilmelidir: Veri seti yüksek frekanslı baskın bir sinyale sahipse düşük genlikli; düşük frekanslı bir sinyale sahipse yüksek genlikli gürültü serisi seçilebilir (Wu ve Huang, 2009: 26).

Ancak belirtilmelidir ki, yapılan çalışmalar sonucunda EMD yönteminin gürültülü verilerde tamamen dyadik filtre özelliği göstererek etkin çalıştığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, gürültülü verilerde EEMD yerine EMD yöntemi de kullanılabilir. Özetlemek gerekirse, EEMD aşağıda kanıtlanmış bulgular temel alınarak geliştirilmiştir:

1) Beyaz gürültü serilerinin oluşturduğu ana kütlede; zaman boyutunda grup ortalamasının alındığı takdirde beyaz gürültü serileri birbirini yok eder ki IMF serileri birbirleriyle olan korelasyonları sıfırdır. Dolayısıyla, grup ortalamasında sıfır ortalama elde edilir ve bu süreç sonunda sadece gerçek sinyal elde edilir.

2) Tek ve gerçek sinyal elde edilmesi için gürültü serisinin genliği çok küçük (infinitesimal) olmamalıdır. Yeterli genlikli gürültü sinyali birbirine benzer skalaya sahip dinamikleri aynı IMF'ye ayrıştırarak fiziksel olarak anlamlı salınımları ortaya çıkarır

3) Gerçek ve anlamlı IMF seti; tek bir EMD denemesi yerine, her bir denemede farklı beyaz gürültü eklenerek çok sayıda EMD demelerinden elde edilen IMF setlerinin oluşturduğu ana kütlede grup ortalaması alınarak elde edilir.

2.2.4. M-EEMD Yaklaşımı

EEMD yöntemine ilişkin olarak iki olasılık, yöntemin uygulanmasında dikkatli olunmasını gerekli kılmaktadır. Bunlardan birincisi, eklenen gürültü serisinin EEMD süreci sonunda tamamen ortadan kalkmaması olasılığı; ikincisi ise EEMD yöntemi sonunda elde edilen nihai IMF setindeki bileşenlerin, IMF fonksiyonunun sahip olması gereken özelliklere sahip olmaması olasılığıdır. Bu çalışmada, söz konusu olasılıkların ortadan kaldırılması amacıyla Hsieh ve diğerleri (2010)

tarafından geliştirilen "Tamamlayıcı EEMD (Complementary EEMD - CEEMD)" yaklaşımı ile Wu ve Huang (2009) tarafından geliştirilen "Süreç Sonrası (Post Processing) EEMD" yaklaşımları birleştirilerek uygulanmış olup söz konusu yeni yaklaşım Geliştirilmiş EEMD (Modified EEMD) (M-EEMD) yaklaşımı olarak adlandırılmıştır.

EEMD uygulanmasında EMD tekrar sayısının düşük tutulması halinde IMF bileşenlerinin, eklenen gürültü serisinden etkilenerek bozulması kaçınılmazdır. Bozulma özellikle IMF bileşenlerinin toplamıyla gerçek veri seti arasındaki farkın oldukça artması şeklinde de kendini gösterir. Dolayısıyla, EMD tekrar sayısının düşük tutulması durumunda eklenen gürültü serilerinin birbirlerini yok edeceklerine ilişkin kural geçerli olamaz ve veri gürültü serisiyle bozulur (Hsieh ve diğerleri, 2010: 136). Bileşen toplamları ile gerçek veri seti arasındaki fark; EEMD uygulanması sürecinde, EMD uygulanırken gerçek veriye gürültü serisinin yinelemeli olarak eklenmesi sonucunda ortaya çıkan gürültü sersine ait kalıntılardır. Bu nedenle, söz konusu kalıntılar IMF bileşenlerinin anlamlılığını azaltabilmektedir.

Eklenen gürültü serisine ait kalıntıların yok edilmesi için Hsieh ve diğerleri (2010) tarafından CEEMD yöntemi geliştirilmiştir. Bağımsız ve özdeş dağılıma sahip gürültü kullanan EEMD yönteminin aksine, CEEMD yöntemi; birbirleriyle mükemmel negatif korelasyona sahip pozitif ve negatif gürültü çiftleri kullanmaktadır. Bu yöntem sayesinde gürültü serilerinin birbirlerini yok etmesi prensibi mükemmel çalışmakta olup bileşenler ve gürültü serisi tamamen ayrışmaktadır. Söz konusu gürültü çifti veri setine eklenerek EEMD yöntemi uygulanacak iki farklı veri seti yaratılır. Dolayısıyla, EEMD yöntemi kullanmak için aşağıda belirtilen veri setleri oluşturulur:

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S \\ N \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

burada S gerçek veri setini, N eklenmiş beyaz gürültü setini, M_1 gerçek veri ve pozitif değerli gürültü serisi toplamını, M_2 ise gerçek veri ve negatif değerli gürültü

serisi toplamını ifade etmektedir. İkinci aşamada veri setlerine EEMD yöntemi uygulanarak iki farklı IMF seti elde edilir. Üçüncü aşamada ise söz konusu iki farklı IMF setlerinin grup ortalaması alınır. Dolayısıyla, nihai sonuç pozitif ve negatif gürültü kullanılarak elde edilen IMF setlerinin grup ortalaması olmakta ve gürültü serilerinin birbirlerini yok etmeleri dolayısıyla grup ortalamasında gürültü serisinin etkisi ortadan kalkmaktadır (Hsieh ve diğerleri, 2010: 139). Özetlemek gerekirse CEEMD yönteminin iki temel özelliği vardır: 1) IMF bileşenlerinden gürültü serisine ilişkin kalıntılar tamamen yok edilmektedir 2) EMD yineleme sayısı düşük seçilse dahi CEEMD yönteminin performansı yüksek olmaktadır ve dolayısıyla bozucu etkilerden arındırılmış daha düzgün dalga profilleri elde edilebilmektedir.

EEMD yönteminde nihai IMF setinin grup ortalaması alınarak bulunmasından ötürü ortalama alma işlemi IMF tanımına uymayan fonksiyonlar meydana getirebilir ve söz konusu sapmalar da HHT analizi sonuçlarında sapmalar meydana getirebilir. Ayrıca, belirli bir karakteristik skalaya sahip salınım dalgası incelenmek istenirse söz konusu salınımın meydana getirdiği fonksiyonun IMF tanımına tamamen uyması gerekebilir. Bu nedenle, Wu ve Huang (2009) tarafından geliştirilen "Süreç Sonrası EEMD" yaklaşımı kullanılarak, elde edilen bileşenlerin kesin olarak IMF özellikleri göstermesi amacıyla EEMD sonucunda elde edilen IMF seti tekrar EMD sürecine tabi tutulabilir. Böylelikle IMF tanımına uymama sorunu da ortadan kalkar. Bu yöntem aşağıdaki biçimde özetlenebilir: EEMD sonucunda elde edilen bileşenler C_i olarak adlandırılırsa:

1. aşamada - periyodiklik sorununun yüksek frekansta ortaya çıkıp düşük frekanslı bileşene doğru yayılmasından dolayı - yüksek frekanslı bileşenden düşük frekanslı bileşene doğru gidilerek C_i ve C_{i+1} bileşenleri sırasıyla toplanır:

$$C_i + C_{i+1} = S_{1,j} \quad (2.45)$$

2. aşamada yukarıdaki toplam EMD yöntemine tabi tutulup 1. IMF bileşeni elde edilir:

$$S_{1,i} \rightarrow EMD \rightarrow \{D_{1,i}, D_{2,i}, \dots, D_{n,i}\} = \{D_{1,i}, R_{1,i}\} \quad (2.46)$$

3. aşamada ise; 2. aşamada elde edilen birinci bileşen, $D_{1,i}$, hariç diğer bileşenlerin tümü, $R_{1,i}$, EEMD bileşeni olan C_{i+2} 'ye eklenir. 2. ve 3. aşama yinelenerek tüm EEMD bileşenleri tekrar işlemde geçirilir (Wu ve Huang, 2008: 29). Süreç sonucunda elde edilen IMF setleri, teorik IMF tanımına kesin olarak uymaktadır.

2.3. HHT ANALİZİ VE BİLEŞEN NORMALLEŞTİRME SÜRECİ

Bu bölümde HHT analizinde doğru ve fiziksel olarak anlamlı anlık frekans değerlerinin hesaplanabilmesi amacıyla geliştirilen "Bileşen Normalleştirme Süreci" ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca normalleştirme sürecinin anlaşılabilmesi için analitik sinyal kavramı ile doğru anlık frekans değerlerinin hesaplanabilmesi için teorik kısıtları sağlayan Bedrosian ve Nuttall teoremleri de incelenmiştir. Normalleştirme süreci kullanılarak geliştirilen "Doğrudan Dikgen" ve "Genelleştirilmiş Sıfır-Geçiş" yöntemleri de detaylı olarak incelenmiştir.

2.3.1. Frekans ve Analitik Sinyal

Veri analizi yöntemlerinden olan klasik frekans-zaman analiz tekniklerinin dezavantajlarından biri de belirsizlik prensibidir (uncertainty principle). Belirsizlik prensibine göre, frekans-zaman teknikleri kullanılarak aynı anda hem zaman hem de frekans boyutunda - aynı anda - yüksek kesinliğe sahip salınım modellenmesi yapılamaz. Bu durum, veri analizinin yapılması sürecinde frekans ya da zaman kesinliğinin birinden feragat edilmesi sonucunu doğurur. Klasik frekans-veri analiz tekniklerini kullanarak anlık frekansın hesaplanması teorik olarak imkânsızdır. Söz konusu belirsizlik prensibi frekans-veri analizinde kullanılan integral dönüşümlerinden kaynaklanır. Dolayısıyla, integral dönüşümü kullanılmadan frekans hesaplanması durumunda belirsizlik prensibi ortadan kalkar (Huang ve diğerleri, 2009: 178).

Matematiksel olarak klasik dalga teorisindeki frekans tanımı faz fonksiyonunun varlığına dayanmaktadır. Teoriye göre dalga yüzeyi, zamana bağlı olarak tedrici değişen genlik fonksiyonu ile faz açısı kullanılarak modellenenmektedir. Böylece, dalga hareketinin karmaşık gösterimi yardımıyla, frekans faz açısının türevi alınarak elde edilebilir. Teorik olarak, dalga hareketleri - sabit frekanslı dalgalar hariç - türev fonksiyonu kullanılarak elde edilebilen anlık frekanslara sahiptir. Veri serilerinin özellikleri dikkate alındığında, durağan olmayan süreçlerde frekans sabit olamaz çünkü serideki dinamikler, salınımın hızının zamana bağlı olarak değişmesini sağlar; doğrusal olmayan süreçlerde ise zamana bağlı meydana gelen frekans değişimi daha şiddetli olmaktadır. Doğrusal olmayan veri sistemlerinde frekans sürekli değişmektedir; salınım-içi frekans modülasyonu ve salınımlar-arası frekans modülasyonu klasik frekans-zaman analiz yöntemleriyle analiz edilememekte ve bu değişimlerin altında yatan dinamikler ortaya çıkarılamamaktadır. Bu nedenle, Frekans değişimlerinin altında yatan fiziksel nedenleri tespit edebilecek bir yaklaşım kullanılmalıdır. Burada söz edilen fiziksel olma durumu; verinin doğasında bulunan dinamikleri ifade eder. Doğrusal ve durağan olmayan verilerin analizinde, söz konusu verinin ihtiva ettiği dinamiklerden kaynaklanan ve farklı zaman noktalarında farklı frekans değerlerine sahip olabilen gizli ve iç içe geçmiş salınımlar dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak bu tür salınımların modellenmesi için anlık frekans hesaplanmasına ihtiyaç vardır (Huang ve diğerleri, 2009: 180).

Anlık frekans hesaplanmasında en dikkat çekici yöntem veri setinin Hilbert dönüşümü yardımıyla analitik sinyale dönüştürülerek faz açısının türevinin alınmasıyla bulunmasıdır. Bu yöntemin etkin biçimde frekans değerlerini hesaplayabilmesi için veri setinin tekil-bileşen (monocomponent) niteliğinde olması gerekir. Ancak, veri setleri - finansal ve ekonomik veri setleri dahil - tekil-bileşenden ziyade karmaşık yapıda yani çoklu-bileşen (multicomponent) niteliği göstermektedir. Veri setleri karmaşık ve iç içe geçen dinamiklerin etkisiyle oluşmaktadır. Dolayısıyla, karmaşık özellikler gösteren serilerin tek bir anlık frekansa sahip olması düşünülemez. Karmaşık veri setleri senfoni orkestra müziğine benzer biçimde birçok farklı frekans içermektedir (Huang ve diğerleri, 2009: 181).

Farklı frekanslar içeren çoklu-bileşen özelliği gösteren karmaşık veri setleri EMD kullanılarak bileşenlerine ayrılabilir. Buna rağmen; Bedrosian ve Nuttall teoremlerine ilişkin kısıtlar, analitik sinyal aracılığıyla fiziksel olarak anlamlı anlık frekans hesaplanabilmesi için sağlanmalıdır. Kısıtların sağlanması gerçek anlık frekans hesaplanması için zorunludur.

2.3.2. Bedrosian ve Nuttall Teoremleri

IMF'nin, anlamlı anlık frekans hesaplanması için sahip olması gereken koşullar yanında analitik sinyalin de sahip olması gereken koşulları ele alan iki temel teorem bulunmaktadır: 1) Bedrosian Teoremi. 2) Nuttall Teoremi.

Bedrosian Teoremi anlık frekans hesaplanabilmesi için oluşturulan analitik sinyalin taşınması gereken şartları içerir. Teorem taşıyıcı sinyalin (carrier wave) Hilbert dönüşümünün, sinyalin genliğinden ayrılabilmesi için gerekli koşulu ortaya koyar. Teoreme göre iki fonksiyonun, $f(t)$ ve $g(t)$, çarpımının Hilbert dönüşümü:

$$H[f(t)g(t)] = f(t)H[g(t)] \quad (2.47)$$

biçiminde gerçekleşebilmesi için söz konusu iki fonksiyonun frekans boyutunda Fourier spektrumlarının birbirinden tamamen ayrılmış olması ve $g(t)$ 'nin frekans spektrumunun $f(t)$ 'nin spektrumundan daha yüksek aralığa sahip olması gerekmektedir. Teori, Hilbert dönüşümünün etkin biçimde gerçekleştirilebilmesi için analitik sinyal bileşenleri olan zarf ve taşıyıcı fonksiyonların özelliklerini belirlemekte olup temel olarak taşıyıcı fonksiyonun zarf fonksiyonundan daha hızlı değişmesini gerektiğini ifade eder. $x(t) = a(t) \cos \phi(t)$ biçiminde ifade edilen bir IMF bileşenlerine ilişkin Hilbert dönüşümün doğru biçimde yapılabilmesi için söz konusu dönüşüm:

$$H[a(t) \cos \phi(t)] = a(t)H[\cos \phi(t)] \quad (2.48)$$

biçiminde gerçekleşmelidir. Bedrosian teoremine göre yukarıdaki dönüşümün doğru gerçekleşebilmesi için genlik fonksiyonundaki değişim çok yavaş gerçekleşmelidir ki zarf ve taşıyıcı fonksiyonların , $a(t)$ ve $\cos\phi(t)$, Fourier spektrumları çakışması engellenebilsin. Teori, IMF'lerin sadece tek bileşenli değil aynı zamanda dar bantlı sinyal özelliğine sahip olmaları gerektiğini savunur. Aksi takdirde, zarf fonksiyonundaki değişimler taşıyıcı fonksiyonu bozucu etki göstermektedir. Sonuç olarak, IMF bileşenlerinin doğrudan Hilbert dönüşümüne tabi tutulmaları kesin ve pozitif anlık frekans elde edilmesini sağlayamaz; çünkü zarf fonksiyonunda meydana gelen ani değişim bedrosian teoreminin belirttiği şartları ortadan kaldırarak elde edilen frekansın doğruluğunu şüpheli hale getirebilir. IMF'lerin doğrudan Hilbert dönüşümüne tabi tutulmasıyla gerçel kısmı (real part) IMF bileşeniyle aynı olan analitik sinyal elde edilebilir; fakat sanal kısım (imaginary part) AM tarafından bozulmuş faz fonksiyonu sebebiyle aynı olmaz (Huang, 2005: 15).

Nuttall teoremi ise sinüs fonksiyona ait Hilbert dönüşümünün kosinüs fonksiyonu - sinüs fonksiyonun faz açısının 90 derece kaydırılmış (diğer bir ifadeyle, faz kayması - phase shift) hali - olması durumunu ele alır. Teorem, söz konusu Hilbert dönüşümünün her zaman sinüs fonksiyonunu veremediğini ortaya koymuş ve söz konusu farklılığın analitik sinyalin sanal kısmından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Hilbert dönüşümünde ortaya çıkan hata, faz fonksiyonunun yapısından kaynaklanmaktadır (Huang, 2005: 16). Nuttall teoremine göre kısıtının sağlanamamasının nedeni Hilbert dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Hilbert dönüşümü, integral dönüşümünü serinin tümünde - yani genel olarak - kullanırken anlık frekans yerel ölçümlemeyi gerektirir.

Bedrosian ve Nuttall teoremlerine ilişkin kısıtların sağlanabilmesi için pratikte kullanılan yol bant geçişli filtre kullanılmasıdır. Ancak bu yöntemde doğrusal olmayan dinamikler ortadan kaldırılmakta ve elde edilen sinyal sadece doğrusal yapıda olmakta; elde edilen anlık frekans değerleri fiziksel olarak anlamlı olamamaktadır. Bedrosian ve Nuttall teoremlerinin ortaya koyduğu ön şartların sağlanabilmesi için "Normalleştirme" süreci geliştirilmiştir.

2.3.3. Ampirik AM-FM Ayırıştırma Süreci: Normalleştirme Süreci

Bedrosian ve Nuttall teoremlerinin gerektirdiği koşullar sağlandığı takdirde doğru anlık frekans elde edilir. Bu amaçla geliştirilen normalleştirme süreci temelde ampirik olarak verinin AM ve FM kısımlarının ayrıştırılmasını ifade eder. Böylelikle kesin ve tek zarf (AM) ve taşıyıcı (FM) fonksiyonları elde edilebilir. Normalleştirme süreci, kübik eğri fonksiyonunun veriye yinelenen (iterative) biçimde uygulandığı için ampirik niteliktedir. Normalleştirme sürecinin iki önemli sonucu vardır: 1) normalleştirilmiş taşıyıcı fonksiyon aracılığıyla dikgen (quadrature) doğrudan hesaplanabilir. 2) normalleştirme sonunda elde edilen taşıyıcı fonksiyonunun genliği bir değerine eşittir ve Bedrosian teoreminin getirdiği kısıtlar sağlanmış olur. Ayrıca normalleştirme sayesinde faz açısının teori ve uygulamadaki aldığı değerler sağlıklı biçimde ölçümlenerek tahminleme hatasına ilişkin yerel hata ölçümlemesi yapılabilir. Nuttall teoreminin getirdiği kısıt da sağlanmıştır. Normalleştirme tekniği uygulanmış IMF bileşeninin Hilbert Dönüşümüne tabi tutularak anlık frekans elde edilmesi sürecine "Normalleştirilmiş Hilbert dönüşümü (Normalized Hilbert Transform - NHT)" adı verilir (Huang ve diğerleri, 2009: 191).

NHT süreci aşamaları aşağıda özetlenmiştir: birinci aşamada; IMF fonksiyonu, $x(t)$, elde edilir. IMF fonksiyonun mutlak değeri alınarak yerel maksimum değerleri tespit edilir. Mutlak değer alınması işlemiyle, normalleştirilmiş verinin sıfır eksenine göre simetrik olması sağlanmış olur. Söz konusu maksimum değerleri kübik eğri fonksiyonuyla birleştirilerek verinin ampirik zarf fonksiyonu, $e_1(t)$, elde edilir. Daha sonra ise IMF fonksiyonu zarf fonksiyonuyla normalleştirilir:

$$y_1(t) = \frac{x(t)}{e_1(t)} \quad (2.49)$$

ideal olarak normalleştirilmiş veri, $y_1(t)$, tüm uç değerleri (+1) ya da (-1) değerine eşit olmalıdır. Ancak uygulamada, eğri fonksiyonun sadece maksimum noktalardan geçmesinden ötürü $y_1(t)$ bazı noktalarda 1 değerinden büyük olmaktadır. Bu

durumun temel nedeni; genliğin hızlı değiştiği bölgelerde maksimum noktalardan geçen eğri fonksiyonu söz konusu bölgedeki verilerin altından geçerek veriyi kesebilmesidir. Bu durumda $e_1(t)$, IMF den daha düşük değere sahip olmakta ve normalleştirilmiş verinin birim değerden daha yüksek olmasına neden olabilmektedir. Söz konusu yerel hatalara rağmen normalleştirme süreci genlik fonksiyonunu taşıyıcı salınım fonksiyonundan etkin biçimde ayırmaktadır. Bölgesel hataları yok etmek için normalleştirme süreci, tekrarlanarak $y_1(t)$ fonksiyonuna ilişkin zarf fonksiyonun elde edilmesiyle gerçekleştirilir. Söz konusu normalleştirme süreci - yinelemeli şekilde - tekrarlanarak normalleştirilmiş veriye ilişkin tüm değerlerin 1'den küçük oluncaya kadar devam eder:

$$\begin{aligned}
 y_2(t) &= \frac{y_1(t)}{e_2(t)} \\
 &\dots \\
 y_n(t) &= \frac{y_{n-1}(t)}{e_n(t)}
 \end{aligned}
 \tag{2.50}$$

$y_n(t)$ fonksiyonunun tüm değerleri 1'den küçük olduğunda süreç tamamlanır ve elde edilen normalleştirilmiş fonksiyon, IMF bileşeninin ampirik taşıyıcı sinyali (FM) olmaktadır:

$$y_n(t) = \cos \phi(t) = F(t)
 \tag{2.51}$$

burada $F(t)$ birim genlikli FM fonksiyonudur. FM kısmının seriden ayrıştırılmasıyla genlik fonksiyonu (AM) aşağıdaki biçimde hesaplanabilir:

$$A(t) = \frac{x(t)}{F(t)} = e_1(t)e_2(t)\dots e_n(t)
 \tag{2.52}$$

Denklem (2.52)' nin yeniden düzenlenmiş hali:

$$x(t) = A(t)F(t) = A(t) \cos \phi(t)
 \tag{2.53}$$

olup normalleştirme süreciyle ampirik FM-AM ayrıştırılmasının başarıyla gerçekleştirilebildiğini gösterir. Elde edilen ampirik zarf fonksiyonları veriyi en iyi derecede yansıtan, bu nedenle tek ve eşsiz, fonksiyonlardır. Ayrıca, anlık frekans faz fonksiyonu kullanılarak kesin olarak hesaplanabilmekte; yaklaşık değerler elde edilmesi olasılığı ortadan kalkmaktadır (Huang ve diğerleri, 2009: 193).

Özet olarak, klasik HT yaklaşımı, IMF bileşenine HT uygulayarak AM ve FM bileşenlerinin doğrudan elde edilmesi sürecini ifade etmektedir. NHT yöntemi ise IMF bileşenine zarf fonksiyonları aracılığıyla normalleştirme uygulanmasıyla FM ve AM bileşenlerinin elde edilmesini sürecini kapsamakta, süreç sonunda doğru anlık frekans ve enerji elde edilebilecek sinyal elde edilebilmektedir: $IMF = a(t)\cos\theta(t)$. Ayrıca klasik yöntemde teorik olarak $a(t)$ fonksiyonu $\theta(t)$ fonksiyonundan daha hafif şiddetli dalgalanmaları içermesi durumunda Bedrosian teoremi sağlanır; dolayısıyla anlamlı frekans elde edilebilir.

Normalleştirme sürecinin getirdiği en büyük yenilik "doğrudan dikgen" (Direct Quadrature) hesaplanmasını olanaklı hale getirmesidir. Böylelikle anlık frekans hesaplanması için etkin bir yöntem daha elde edilmiş olmaktadır. Bununla birlikte, özellikle düşük frekanslı bileşenlerin frekans düzeylerindeki değişmeyi tespit etmek amacıyla Genelleştirilmiş Sıfır-Geçiş Yöntemi (Generalized Zero Crossing - GZC) de kullanılabilir hale gelmiştir.

2.3.4. Doğrudan Dikgen Yöntemi

İdeal olarak, tek bileşenli sinyalin dikgeni kullanılarak anlık frekans kesin olarak hesaplanabilir. Dikgen, faz fonksiyonun herhangi bir zaman noktasında 90 derece kaydırılmasıdır. Basit olarak, sinüs fonksiyonu olarak tanımlanabilen bir taşıyıcı sinyalin dikgeni aynı zaman noktalarında kosinüs fonksiyonu olmaktadır. Taşıyıcı sinyal temel olarak verinin frekans bilgilerini içeren sinüzoidal salınım hareketi olarak tanımlanabilir ve frekans hesaplanması için gerekli bir unsurdur. Dolayısıyla, kesin anlık frekansın hesaplanabilmesi için zaman serisine $X(t)$, ait

zarf ve taşıyıcı fonksiyonları belirlenip aşağıda ifade edilen biçime dönüştürülmelidir:

$$X(t) = a(t) \cos \phi(t) \quad (2.54)$$

burada $a(t)$ ve $\cos \phi(t)$ sırasıyla zarf ve taşıyıcı fonksiyonlardır. zarf fonksiyonu, verinin genlik değişimini ifade ettiği için genlik modülasyonu (AM) olarak adlandırılırken zarf fonksiyonu ise frekans değişimini içermesinden ötürü frekans modülasyonu (FM) olarak adlandırılırlar. Yukarıda belirtilen sinyalin dikgeni ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Xq(t) = a(t) \sin \phi(t) \quad (2.55)$$

sinyal ve kendisinin dikgeni kullanılarak anlık frekans, faz fonksiyonunun türevi alınarak, hesaplanabilir.

Anlık frekans hesaplanması konusunda geçmişte aşağıdaki noktalarda sorun yaşanmaktaydı: 1) veri setinin tek bileşenli yapıda olmaması. 2) veri setini temsil eden tek ve benzersiz $[a(t), \phi(t)]$ çiftinin elde edilememesi. 3) Dikgenin veri setini kullanarak doğrudan hesaplanamaması. Karmaşık verinin tekil bileşenlerine ayrılması EMD metoduyla gerçekleştirilerek sorun olmaktan çıkmıştır. Dikgenin hesaplanmasındaki modern yaklaşım ise belirtildiği üzere analitik sinyalin Hilbert dönüşümüyle elde edilmesidir. Bu sayede, veri setini temsil eden tek ve benzersiz $[a(t), \phi(t)]$ çiftinin elde edilmesi sağlanmıştır (Huang ve diğerleri, 2009: 185).

AM-FM ayrıştırılması gerçekleştirildikten sonra, IMF fonksiyonuna ilişkin anlık frekans değerleri doğrudan dikgen kullanılarak elde edilebilir. Normalleştirme süreci sonunda elde edilen FM sinyali, $F(t)$, söz konusu IMF fonksiyonunun taşıyıcı sinyali olmaktadır. Veri setinin kosinüs fonksiyonu formunda salındığı varsayımı altında dikgen fonksiyonu aşağıdaki biçimde kolaylıkla bulunabilir:

$$\sin \phi(t) = \sqrt{1 - F^2(t)} \quad (2.56)$$

Veri seti ve dikgen değerinden oluşan karmaşık sayı çiftlerinin (complex pair) analitik fonksiyon olması gerekmemektedir. Karmaşık sayı çifti doğru faz fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılır çünkü söz konusu sayı çifti, analitik sinyalden kaynaklanan çok küçük bozulmaları bile içermemektedir. Doğrudan dikgen hesaplanması yönteminin bazı avantajları vardır: Hilbert dönüşümünün yapılması zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Böylece integral dönüşümü yapılmamakta; faz fonksiyonu komşu noktalardan etkilenmemekte ve anlık frekans hesaplanması sadece türev dönüşümü kullanılarak elde edilmektedir. Bu nedenle, anlık frekans olabilecek en yüksek oranda yerel olmaktadır (Huang ve diğerleri, 2009: 196).

Dikgen fonksiyonu elde edildikten sonra faz fonksiyonu, taşıyıcı sinyale ark-kosinüs ya da ark-tanjant fonksiyonları kullanılarak elde edilebilir. Belirtmek gerekir ki ark-kosinüs fonksiyonu yerel uç noktaların çevresinde istikrarlı sonuç vermemektedir. Hesaplama doğruluğunun artırılması için modifiye edilmiş ark-tanjant fonksiyonu kullanılabilir:

$$\phi(t) = \arctan\left(\frac{\sqrt{1 - F^2(t)}}{F(t)}\right) \quad (2.57)$$

burada normalleştirme işleminin kritik önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır çünkü normalleştirilmiş sinyalin aldığı değerlerin $|1|$ değerinden büyük olması durumunda dikgen fonksiyon sanal fonksiyon haline gelerek Denklem (2.57)' nin kullanılmasını olanaksız hale getirmektedir. Ark-tanjant fonksiyonu serinin sıçrama ya da ani eğim değişiklikleri gösterdiği bölgelerde istikrarlı olmayan sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca yerel uç noktaların çevresinde dağınık ve seyrek veri bulunması durumunda ark-tanjant fonksiyonu istikrarlı sonuç vermeyebilir. Buna karşın, hesaplama etkinliği 3 ya da 5 nokta genişlikli medyan filtresi uygulanarak artırılabilir. Sonuç olarak, doğrudan dikgen yöntemi kullanılarak teorik değerlerle hemen hemen birebir örtüşen anlık frekans değerleri elde edilebilir. Bu sonuç teorik değerlerle

hemen hemen aynı değerleri sağlayan eğri zarf fonksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Hilbert dönüşümünün doğrudan veri setine uygulanması halinde zarf fonksiyonları alt periyotlarda bozulma gösterebilmektedir (Huang ve diğerleri, 2009: 197).

Özet olarak, IMF fonksiyonun doğrudan Hilbert dönüşümüne tabi tutulması yerine normalleştirilmiş veriye Hilbert dönüşümünün uygulanmasına Normalleştirilmiş Hilbert dönüşümü (NHT) adı verilir. NHT, Bedrosian ve Nuttall teoremlerinin belirttiği kısıtları yerine getirmektedir. Analitik sinyal oluşumundan kaynaklanan anormallikler yok edilmiştir. NHT kullanılarak normalleştirilmemiş verinin küçük genlikli bölgelerinden kaynaklanan negatif anlık frekans oluşma olasılığı ortadan kalkar. Negatif anlık frekans; iki sıfır-geçiş noktası arasında birden çok uç nokta olmasının ya da iki sıfır-geçiş noktası arasında genliğin aşırı dalgalanmasının analitik sinyal üzerindeki bozucu etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu etkiler NHT ya da DQ kullanılarak yok edilebilir (Huang ve diğerleri, 2009: 198). NHT ve DQ doğru anlık frekans hesaplanması için kullanılabilir. NHT, DQ yönteminden az da olsa daha istikrarlı sonuç vermektedir. Buna karşın, DQ verinin yoğun ve sık olduğu durumda daha kesin anlık frekans sonuç verebilir (Huang ve diğerleri, 2009: 199).

2.3.5. Genelleştirilmiş Sıfır - Geçiş Yöntemi

Özellikle düşük frekans yapısına sahip IMF bileşenlerinin anlık frekans değişimlerini genel olarak gözlemlemek için Huang ve diğerleri (2009) tarafından geliştirilen GZC yöntemi uygulanabilir. Böylelikle genel frekans değişimleri hakkında bilgi sahibi olunabilir.

GZC yöntemi temel olarak bileşenin sahip olduğu yerel uç ve sıfır-geçiş noktalarını "kritik kontrol noktası" olarak seçip çeyrek periyot uzunlukları aracılığıyla frekansı hesaplamaktadır. GZC yönteminde kritik kontrol noktalarının tüm kombinasyonları arasındaki zaman aralıkları salınım hareketine ilişkin farklı periyot uzunlukları olarak dikkate alınıp ağırlıklandırılır. Ardışık iki aynı yönlü sıfır-

geçiş noktaları arasında kalan zaman aralığı ile ardışık iki maksimum (ya da minimum) uç nokta arasında kalan zaman aralığı bir tam periyot olarak kabul edilerek T_1 olarak adlandırılır. Daha sonra aynı salınım hareketi, zıt yönlü sıfır-geçiş noktaları arasındaki zaman aralığı ve ardışık uç noktalar arasındaki zaman aralığı olmak üzere iki adet yarım periyoda ayrılarak T_{2j} olarak adlandırılır. Son olarak aynı salınım hareketi sıfır-geçiş ile uç nokta arasında kalacak 4 adet çeyrek periyoda ayrılarak T_{4j} olarak adlandırılır. Ağırlıklandırma aşamasında ise her bir alt periyot tipine göre periyotlara ağırlık verilmektedir. En yüksek yerelliğe sahip olan çeyreklik alt periyotlara 4; daha az yerel olan yarım alt periyotlara 2, tam periyota ise 1 ağırlığı verilerek anlık frekans aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanır:

$$\bar{\omega} = \frac{1}{21} \left(\frac{1}{T_1} + \sum_{j=1}^2 \frac{1}{T_{2j}} + \sum_{j=1}^4 \frac{1}{T_{4j}} \right) \quad (2.58)$$

dolayısıyla her bir zaman noktasında anlık frekans, yerelliklerine göre ağırlıklandırılmış yedi farklı periyot değerine sahip olmaktadır. Görüldüğü üzere GZC yöntemi anlık frekans hesaplanmasında kullanılacak en kesin yöntemlerden biri olup türev ya da integral dönüşümü gerektirmeyen direkt bir yöntemdir. Dezavantajı ise dalga yapısında meydana gelen değişimleri detaylı olarak hesaplayamamasıdır. Çünkü harmonik ya da salınım-içi frekans değişimleri göz ardı etmektedir. Dolayısıyla, GZC yöntemi frekans analizinde özellikle düşük frekanslı bileşenlerin frekans düzeylerini tespit etmekte kullanılabilir. Genel olarak GZC yöntemi frekans değerleri için referans olarak da kullanılabilir çünkü GZC, tahminleme etkinliği açısından en yüksek yerelliğe sahip ortalama frekans değerini veren yöntemdir (Huang ve diğerleri, 2009: 202).

2.4. MODERN ANLIK FREKANS KAVRAMI

Bu bölümde frekans analizinde kullanılan ve sabit frekans değerlerinin hesaplanmasını sağlayan klasik frekans yöntemleri sıralandıktan sonra HHT analizi

kullanılarak elde edilen ve modern frekans yaklaşımını ifade eden "anlık" frekans kavramı detaylı olarak incelenecektir.

Yukarıda detaylı olarak incelenen HHT yöntemi ve yönteme ilişkin son gelişmelerden olan normalleştirme, DQ ve GZC yaklaşımları sayesinde anlık frekans hesaplanması olanaklı hale gelmiştir. Klasik ve gelişmiş zaman-frekans analiz yöntemleri yukarıda açıklanmıştır. Ancak, frekans olgusunun anlaşılması karmaşık yöntemler nedeniyle -özellikle sosyal bilimler açısından- güç olmaktadır. Bu durum geçmişten günümüze frekans tanımlarının gerekli metodolojik bilgilerin ışığında özetlenmesini zorunlu kılar. Ayrıca karmaşık Hilbert dönüşümünün de anlık frekans perspektifinden yeniden incelenerek daha anlaşılabilir hale getirilmesi ve HHT analizi açısından öneminin bir kez daha vurgulanması zorunluluğu altında bu bölümde söz konusu kavramlar bir bütün olarak incelenmiştir.

2.4.1. Klasik Frekans Yaklaşımı: Sabit Frekans

Frekans, salınım hareketinin tanımlanmasındaki temel kavramlardan biridir. Temel tanımıyla frekans, ω , matematiksel olarak periyodun, T , tersidir:

$$\omega = \frac{1}{T} \quad (2.59)$$

Yukarıdaki tanıma göre frekans hesaplanabilmesi için tam bir salınım hareketinin gerçekleşmesi gerekmekte ve tanım gereği frekans salınım hareketi boyunca sabit olmaktadır. Söz konusu tanıma göre frekans; birbirini takip eden sıfır-geçiş ya da ardışık dalgalardaki belirli noktalar arasındaki uzaklığın ölçülmesiyle hesaplanabilir. Ancak, gerçek veri setlerinde yukarıda belirtilen frekans tanımının uygulanması sorun yaratmaktadır. Dahası, teorik olarak yukarıda belirtilen tanım; dalga sayısı ve frekansının türevi alınabilir fonksiyonlar olduğunu ifade eden temel dalganın korunumu kanunuyla çelişmektedir. Türevi alınabilen fonksiyonların sabit fonksiyon olması olanaksızdır. Ayrıca klasik frekans tanımı; durağan olmayan ve özellikle de doğrusal olmayan verilerin frekansında meydana gelen değişiklikleri

açıklamakta yetersizdir. Karmaşık titreşime benzeyen hareketlerde ise ardışık sıfır-geçiş noktaları arasında birden fazla uç nokta bulunabilir ve yukarıdaki tanımın kullanılmasını imkânsız kılar. Bu durumun önlenmesi için veri setin dar bant genişliğine sahip sinyal olmalıdır; böylelikle sıfır-geçiş noktaları arasında bir uç noktanın var olabilmektedir. Ancak EMD yöntemi aracılığıyla veri dar banta sahip bileşenlerine ayrıştırılarak uç noktalarla sıfır-geçiş noktalarının sayısı birbirine eşit hale getirilir ve frekans tanımı uygulanabilir. Uygulamada, tekil-bileşenli salınım elde edebilmek için bant geçişli filtre uygulanabilir fakat bu yaklaşımda temel frekans kendi harmoniklerden ayrılmakta ve ihtiva ettiği doğrusal olmama özelliğinin büyük kısmını kaybetmektedir. Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü klasik frekans tanımının uygulanması sakınca yaratmaktadır (Huang ve diğerleri, 2009: 182).

Dinamik sistem modellerinin kullanılmasıyla da frekans tanımı yapılabilir. Frekans, Hamilton fonksiyonundaki, $H(q, p)$, değişim aracılığıyla hesaplanır:

$$\omega(A) = \frac{dH(A)}{dA} \quad (2.60)$$

$$A = \oint dpdq \quad (2.61)$$

burada q koordinatı; p ise momentumu ifade eder. İntegral işlemi ise hareketin tam bir periyodu için gerçekleştirilir ve integral işlemi ile sadece frekans değerlerinin ortalaması hesaplanabilmektedir. Sonuç olarak bu tanımda frekans zamana bağlı değişmesine rağmen integral işlemi nedeniyle frekans, tam periyodun ortalamasını ifade etmektedir ve gerçek veri setinde kullanılması frekansın hesaplanması açısından yarar sağlamamaktadır (Huang ve diğerleri, 2009: 183).

Geleneksel olarak frekans, Fourier dönüşümü kullanılarak da tanımlanabilir. Veri seti, $X(t)$, Fourier dönüşümüne tabi tutularak aşağıdaki biçimde ayrıştırılabilir:

$$X(t) = R \sum_{j=1}^N a_j e^{-i\omega_j t} \quad (2.62)$$

$$a_j = \int_0^T X(t) e^{i\omega_j t} dt \quad (2.63)$$

Fourier analizinde her bileşenin frekansı tüm veri seti boyunca sabittir. Dolayısıyla, Fourier analizi kullanılarak elde edilen frekans sadece durağan ve doğrusal veri setleri için anlamlı olabilir. Çünkü veri setinin sadece doğrusal olması halinde Fourier dönüşümüne ait bileşenlerin toplamları veri setine eşit olmakta, veri setinin sadece durağan olması durumunda ise frekans zamandan bağımsız olarak hesaplanabilmektedir. Klasik Fourier dönüşümüne alternatif olarak bazı zaman-frekans analiz yöntemleri Fourier penceresi kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerde veri kısa alt periyotlara ayrılmakta ve her bir alt periyotta frekansın sabit olacağı varsayımı altında Fourier dönüşümü uygulanır. Ancak belirsizlik prensibi bu yaklaşımın dezavantajını oluşturmaktadır. Belirsizlik prensibine göre frekans ve zaman aralıkları - diğer bir ifadeyle frekans ve zaman çözünürlükleri, $\Delta\omega$ ve ΔT - çarpımı 0.5'ten küçük olamaz:

$$\Delta\omega\Delta T > 0.5 \quad (2.64)$$

Teorik olarak Fourier dönüşümü, zaman aralığının sonsuz olduğu varsayımı altında geliştirilmiştir. Fakat pratikte belirsizlik kuramı, söz konusu zaman aralığının, salınım periyoduna oranla çok kısa olamayacağını ifade eder. Belirsizlik kuramı; frekansın integral işleminin uygulandığı zaman aralığından daha hızlı değiştiği durumlarda - yani frekansın bir tam periyottan daha kısa sürede değişmesi halinde- frekansın hesaplanamayacağını ifade eder (Huang ve diğerleri, 2009: 184).

Fourier dönüşümünün geliştirilmiş hali olan dalgacık analizi kullanılarak da frekans hesaplanabilir. Kısaca dalgacık analizi, ayarlanabilir pencere kullanılarak Fourier dönüşümü gerçekleştirilmesidir. Fakat dalgacık analizi yönteminin dezavantajlarından biri belirsizlik kuramıdır: Dalgacık analizi kullanılarak frekans değişimlerinin meydana geldiği zaman noktalarının yüksek etkinlikle

hesaplanmasının istendiği durumlarda; dalgacık analizine ilişkin baz fonksiyonları veri setinin içerdiği tüm dalgalanmalarını barındıramamaktadır. Dolayısıyla frekans değerlerinin hesaplanmasına ilişkin kesinlik azalacaktır. Eğer frekans değerinin yüksek etkinlikle hesaplanması isteniyorsa Dalgacık analizi çok fazla dalga içerecek ve frekans değişim zamanları tespit edilemeyecektir. Özetlemek gerekirse, frekans ve zaman boyutunda aynı anda yüksek etkinlikle tahmin yapmak imkansızdır. Sonuç olarak dalgacık analizi kantitatif bir analiz yönteminden ziyade kalitatif bir yaklaşımı ifade eder. Ayrıca dalgacık analizi yapay harmoniklerden etkilendiği için durağan olmasa bile sadece doğrusal veriler için anlamlı sonuçlar verebilir (Huang ve diğerleri, 2009: 184).

Wigner-Ville Dağılımı (WVD) aracılığıyla da frekans hesaplanabilir. WVD aşağıdaki biçimde gösterilebilir:

$$V(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X\left(t + \frac{\tau}{2}\right) X^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (2.65)$$

Temel olarak WVD, otokorelasyon fonksiyonunun Fourier dönüşümüne tabi tutulmasıdır. Temel olarak Fourier dönüşümünün sahip olduğu dezavantajlara sahiptir. WVD uygulanarak elde edilen frekans, yerel frekansların ağırlıklı ortalaması olarak elde edilebilir. Dolayısıyla, ortalama frekans, karmaşık dinamikleri içinde barındıran veri setine ilişkin detaylı frekans bilgisinden yoksundur (Huang ve diğerleri, 2009: 185).

2.4.2. Modern Frekans Yaklaşımı: Anlık Frekans

Yukarıda kısaca özetlenen klasik frekans analizi yöntemleri kullanıldığında anlık frekans fiziksel olarak anlamlı olacak şekilde hesaplanamamaktadır. Veri setine ilişkin kısıtlar ve yöntemlerden kaynaklanan bu zorluk HHT yöntemi ve varyasyonları sayesinde büyük ölçüde giderilmiştir. HHT yönteminde anlık frekans Hilbert dönüşümü kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu bölümde Hilbert dönüşümü, anlık frekans hesaplanması açısından incelenmiştir. HHT yöntemine ilişkin kısıtları

ifade eden Bedrosian ve Nuttall teoremleri geçmiş bölümlerde tartışılmıştır. Bu bölümde ise anlamlı frekans elde etmek için sağlanması gereken tekil-bileşen olma kısıtı incelenecektir.

Frekansın anlık olması olgusu, klasik frekans analizi yöntemlerinin varsayımlarıyla çelişmektedir. Çelişki, iki nedenden kaynaklanmaktadır: Birincisi, geleneksel frekans analiz yöntemlerinin temeli Fourier analizine dayanmaktadır. Geleneksel Fourier analizinde, frekans sabit genlikli ve tüm veri boyunca var olan sinüs ya da kosinüs fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Söz konusu frekansın yerel olarak hesaplanabilmesi için veri setinde en az bir tam salınım (oscillation) olması gerekmektedir. Bu tanım doğrusal olmayan zaman serisi için anlamlı değildir çünkü doğrusal olmayan zaman serisinde frekans, zamanın bir fonksiyonudur ve sürekli değişen özellik gösterir. Ayrıca Fourier analizinde durağanlık ve doğrusallık analiz için ön koşul olmasından ötürü Fourier analizi ve Fourier denklemlerini temel alan analiz yöntemleri finansal fiyat serileri için kullanılamaz (Huang ve diğerleri, 1998: 911).

Çelişki nedenlerinden ikincisi ise geçmişte frekans hesaplama yöntemlerinin anlık frekansı tek ve benzersiz (unique) biçimde tanımlayamamasından kaynaklanmaktadır. Fakat bu zorluk veri serisini analitik biçime dönüşmesini sağlayan Hilbert dönüşümü ile ortadan büyük oranda kalkmıştır. Herhangi bir zaman serisinin, $X(t)$, Hilbert dönüşümü aşağıda tanımlanmıştır.

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(t')}{t-t'} dt' \quad (2.66)$$

Burada P Cauchy esas değerini ifade etmektedir. Bu dönüşüm tüm fonksiyon sınıfı için geçerlidir. Hilbert dönüşümü sonunda $X(t)$ ve $Y(t)$ karmaşık eşlenik fonksiyon çifti oluşturarak analitik sinyal türetilmesini olanaklı kılar. Analitik sinyal aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$Z(t) = X(t) + iY(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (2.67)$$

$$a(t) = [X^2(t) + Y^2(t)]^{1/2} \quad (2.68)$$

$$\theta(t) = \arctan\left(\frac{Y(t)}{X(t)}\right) \quad (2.69)$$

Teorik olarak, yukarıda belirtilen karmaşık sayının sanal kısmının hesaplanmasında birçok yol olmasına rağmen Hilbert dönüşümü sanal kısmın tek ve benzersiz olacak şekilde hesaplayarak analitik fonksiyonun oluşturulabilmesini sağlar. Teknik olarak Denklem (2.66) 'de belirtilen Hilbert dönüşümü zaman serisinin $1/t$ ile evrişimidir. Dolayısıyla zaman serisinin yerel özellikleri korunmuştur. Denklem (2.67)'de ifade edilen kutupsal koordinat ifadesi de dönüşümün yerellik özelliği taşıdığı anlamına gelmektedir; bu sayede $X(t)$ serisine yerel olarak en iyi uyan ve zamana bağlı değişen genlik ve faz açısına sahip trigonometrik fonksiyon elde edilebilmektedir. Analitik sinyalden elde edilen anlık frekans ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{1}{a^2}(XY' - YX') \quad (2.70)$$

Denklem (4.11)'de ifade edilen anlık frekansın, zamanın tekil değerli fonksiyonu olabilmesi için Hilbert dönüşümü uygulanan verinin "tekil-bileşenli fonksiyon (monocomponent function)" olması gerekmektedir; yani herhangi bir zaman noktasında yalnızca tek bir frekans verisi elde edilmelidir. Tekil-bileşenli fonksiyon tanımındaki belirsizlikler nedeniyle dar bantlı sinyal olma kısıtı, anlık frekansın anlamlı olabilmesi için gerekli ön şart kabul edilmektedir.

Karmaşık veri setine doğrudan anlık frekans formülü uygulandığında; frekans değerleri geniş bir aralıkta pozitif ve negatif değerler içermektedir. Frekans verileri negatif olamaz; dolayısıyla formülün çoklu-bileşen özelliği gösteren veriye doğrudan uygulanması verinin doğasının göz ardı edilmesine ve fiziksel olarak anlamsız frekans hesaplanmasına yol açmaktadır (Huang ve diğerleri, 2009: 187). Tekil-bileşenli fonksiyon ya da dar bantlı sinyal olma ön koşulunu anlaşılır hale

getirebilmek için bir örnek verebiliriz. Frekans değeri α olan basit bir salınım fonksiyonu aşağıda belirtilen şekilde tanımlanabilir:

$$x(t) = a + \cos \alpha t \quad (2.71)$$

burada a sabit sayıdır. $x(t)$ 'nin Hilbert dönüşümü ise:

$$y(t) = \sin \alpha t \quad (2.72)$$

olmaktadır. Denklem (2.70) kullanılarak anlık frekans aşağıdaki biçimde hesaplanabilir:

$$\omega = \frac{\alpha(1 + a \sin \alpha t)}{1 + 2a \cos \alpha t + a^2} \quad (2.73)$$

$x(t)$ nin frekans değeri α olmasına rağmen; Denklem (2.73), a değerine bağlı olarak herhangi bir değer alabilir. Dolayısıyla, anlamlı frekans değeri için a sifıra eşit olmalıdır. Bu örnek bize anlamlı frekans için gerekli koşulları ifade etmektedir: 1) fonksiyon tek bileşenli olmalıdır. 2) yerel olarak sıfır ortalamaya sahip olmalıdır. 3) fonksiyon yerel sıfır ortalamaya göre simetrik olmalıdır (Huang ve diğerleri, 2009: 187).

Bant genişliği (bandwidth), sinyal ve dalgaların olasılık özellikleri diğer bir deyişle spektral momentler kullanılarak tanımlanabilmektedir. Birim zamanda beklenen sıfır-geçiş ve uç nokta sayıları sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$N_0 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{m_2}{m_0} \right)^{1/2} \quad (2.74)$$

$$N_1 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{m_4}{m_2} \right)^{1/2} \quad (2.75)$$

burada m_i , spektrumun i . momentini ifade eder. Yukarıdaki beklenen değer formülleri kullanılarak bant genişliği ölçütü, ν , ise:

$$N_1^2 - N_0^2 = \frac{1}{\pi^2} \frac{m_4 m_0 - m_2^2}{m_2 m_0} = \frac{1}{\pi^2} \nu^2 \quad (2.76)$$

formülü ile hesaplanabilir. Dar bantlı sinyallerde $\nu = 0$ olmaktadır. Bu nedenle, dar bantlı sinyallerde beklenen sıfır-geçiş ve uç nokta sayıları birbirine eşit olmalıdır (Huang ve diğerleri, 1998: 912). Bant genişliği ölçütü; geniş anlamda anlık frekans tanımı ve karmaşık değerli fonksiyonun kutupsal koordinatları aracılığıyla aşağıdaki biçimde tanımlanabilir. Karmaşık değerli fonksiyonun kutupsal koordinasyon gösterimi:

$$z(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (2.77)$$

biçimindedir. Söz konusu fonksiyonun ortalama frekans aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$\langle \omega \rangle = \int \omega |S(\omega)|^2 d\omega \quad (2.78)$$

burada $S(\omega)$ spektrumu ifade eder. Ortalama frekans bir dizi dönüşüm yapılarak anlık frekans formülü haline getirilebilir (Cohen, 1995: 12; Huang ve diğerleri, 1998: 913):

$$\langle \omega \rangle = \int z^*(t) \frac{1}{i} \frac{d}{dt} z(t) dt = \int \left(\dot{\theta}(t) - i \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right) a^2(t) dt = \int \dot{\theta}(t) a^2(t) dt \quad (2.79)$$

burada $\dot{\theta}$ 'nın anlık frekansı ifade ettiği ileri sürülmüştür. Bant genişliği ise aşağıdaki biçimde hesaplanabilir:

$$v^2 = \frac{(\omega - \langle \omega \rangle)^2}{\langle \omega \rangle^2} = \frac{1}{\langle \omega \rangle^2} \left[\int \dot{a}^2(t) dt + \int \left(\dot{\theta}(t) - \langle \omega \rangle \right)^2 a^2(t) dt \right] \quad (2.80)$$

Dar bantlı sinyallerde yukarıda hesaplanan değer küçük olmalıdır; dolayısıyla θ ve a tedrici olarak değişen fonksiyonlar olmalıdır. Ancak yukarıda belirtilen bant genişliği tanımları genel bir ifade olup sınırlı bir olguyu ifade eder ve frekansın yerel olarak hesaplanması gerekliliğini ortadan kaldıramamaktadır (Huang ve diğerleri, 1998: 913).

Denklem (2.70) kullanılarak ifade edilen anlık frekans formülü, frekans değerini hesaplamak için tam bir salınımın gerçekleşmesi zorunluluğunu da ortadan kaldırmıştır. Ayrıca her bir zaman noktasında gerçekleşen frekans modülasyonları da hesaplanabilir hale gelmiştir. Frekans değişimi salınımlar arasında olabileceği gibi salınım gerçekleşirken de, yani salınım-içi, olabilmektedir. Salınım-içi dalgalanmalar basit olarak salım gerçekleşirken salınım şeklinin sinüs fonksiyonundan farklılaşması durumu olarak tanımlanabilir (Huang ve diğerleri, 1998: 917).

Tekil-bileşenli fonksiyon olma kısıtının yanında, anlamlı anlık frekans elde edilebilmesi amacıyla Bedrosian ve Nuttall tarafından oluşturulan kısıtların da sağlanması gerektiğini bir kez daha ifade etmek gerekmektedir. Şu ana kadar belirtilen anlık frekans hesabına ilişkin genel kısıtlar, veri analiz yöntemlerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla fiziksel olarak uygulanabilir yerel kısıtlara dönüştürülmesi gereklidir. Etkin bir veri analiz yöntemi, anlamlı anlık frekans hesaplamak amacıyla gerekli yerel kısıtları gerçekleştirmelidir. Fiziksel olarak anlamlı anlık frekans için gerekli yerel kısıt ise fonksiyonun sıfır ortalamaya göre simetrik olmasıdır. Sıfır ortalamaya göre simetrik fonksiyonlar fiziksel olarak anlamlı ve pozitif anlık frekansa sahiptir. Sonuç olarak Hilbert dönüşümü aracılığıyla elde edilen anlık frekansın anlamlı olabilmesi için: 1) Dönüşüme konu olan fonksiyon tek bileşenli olmalı 2) sıfır ortalamaya göre simetrik olmalıdır. Söz konusu iki özellik de IMF bileşenlerine ait temel özelliklerdir ve anlık frekans kısıtları ile paralellik göstermektedir. Sonuç olarak, söz konusu kısıtları sağlayan EMD yöntemi

ve Hilbert dönüşümüne ilişkin geliştirilen modeller aracılığıyla elde edilen anlık frekans değerlerinin fiziksel olarak anlamlı olacağı açıktır.

2.5. HHT ANALİZİ VE MODERN KORELASYON YAKLAŞIMI: TDIC

Bu bölümde gerçek korelasyon değerinin hesaplanmasında verinin sahip olduğu özelliklerden ve korelasyona ilişkin varsayımlardan kaynaklanan sorunlar ele alınmıştır. Daha sonra HHT analizinden faydalanarak geliştirilen TDIC yöntemi detaylı olarak incelenmiştir.

2.5.1. KORELASYON KAVRAMI VE KORELASYON KAVRAMINA İLİŞKİN SORUNLAR

İki veri seti arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla en sık kullanılan yöntem korelasyon katsayısının hesaplanmasıdır. Ancak ilişkiyi doğru olarak ifade edebilecek korelasyon katsayısının hesaplanması konusunda bazı güçlükler vardır. Korelasyon katsayısı, iki veri setine ilişkin kovaryans değerinin söz konusu iki serinin standart sapmalarının çarpımına oranı kullanılarak hesaplanmaktadır ki standart sapma veri setinin tümü için -yani genel- hesaplanan değerlerdir. Dolayısıyla, korelasyon katsayısı durağan ve doğrusal veri setleri için hesaplanabilir. Bilindiği gibi veri setlerinin çoğu ne doğrusal ne de durağandır. Korelasyon katsayısının durağan olmayan ya da doğrusal olmayan veri setlerinde uygulanması halinde elde edilen sonuç gerçeği yansıtamamaktadır. Özellikle veri setinin trend veya düzeyinde kayma içermesi, ya da fasıllı yapı göstermesi durumunda korelasyon katsayısı anlamsız olacaktır (Chen, ve diğerleri. 2010: 234).

Özellikle durağan olmayan serilerde, hesaplanan korelasyon katsayısının fiziksel anlamlılığı kritik önem kazanmaktadır; çünkü zamana bağlı değişen veri setlerinde gerçekte birbirleriyle ilişkili olmamalarına rağmen aralarında korelasyon katsayısı hatalı biçimde yüksek hesaplanabilmektedir. Bu durum "yapay korelasyon (nonsense ya da illusory correlation)" olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak araştırmacıları yanılgıya düşürebilen yapay korelasyon, verilerin durağanlığının

sınanmadan korelasyon katsayısının hesaplanmasından kaynaklanmaktadır (Chen ve diğeri, 2010: 234).

Durağan olmayan serilerin istatistiksel özellikleri zamana bağlı olarak değişmektedir, dolayısıyla veri setlerinin tümü ve alt periyotları kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayıları birbirinden farklı olacaktır. Bu durum tek bir ortalama korelasyon değeri yerine, veri setlerinin farklı alt periyotlarını dikkate alan zamana bağlı korelasyon yapısının hesaplanması gereğini ortaya koymaktadır. Korelasyon hesaplanmasına ilişkin sorunları ortadan kaldırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır; örneğin Papadimitriou ve diğeri (2006) çarpaz korelasyon mantığını genelleştirerek zamana bağlı değişen yerel benzerlik skoru yöntemini geliştirmiş ve korelasyon tahmini yerel hale getirmek amacıyla "hareketli pencere" fikrini kullanmıştır. Rodo ve Rodriguez-Aria (2006) ise zaman skalasına bağlı değişen korelasyon tekniğini geliştirmiştir. Yukarıda örnekleri belirtilen yöntemlerin temel noktası korelasyon katsayısının zamana bağlı değişen nitelikte hesaplanmasıdır. Bu yöntemler, durağan olmayan veri setlerine ilişkin zamana bağlı ve karmaşık nitelikli korelasyon katsayısını hareketli pencere kullanarak hesaplamaktadır. Ancak korelasyon hesaplanmasında bazı eksik noktalar hala varlığını sürdürmektedir: 1) söz konusu yöntemler veri içindeki çoklu-skala olarak ifade edilebilen karmaşık dinamik yapıyı dikkate alamamaktadır. Gerçek dünyaya ilişkin veri setleri, periyot ya da alt periyotlarda farklı dinamiklerin etkisiyle oluşan farklı zaman skalalarına sahiptir. Basit olarak görsel analiz yapıldığında, veri setlerinin bazen hızlı bazen de yavaş dalgalanmalara sahip olduğu görülebilir. Dolayısıyla, iki veri seti sahip oldukları dinamiklerin etkisiyle bazı alt periyotlar kuvvetli ilişkiye sahip, diğer periyotlar ise zayıf ilişkili ya da ilişkisiz olabilmektedirler. Farklı zaman skalalar dikkate alınmadan, veri setleri bir bütün olarak değerlendirilip tüm periyot için korelasyon katsayısı hesaplandığında, elde edilen korelasyon katsayısı yanıltıcı olabilmektedir. Ayrıca zaman skalalarının birbirleriyle çakışmaları nedeniyle veri seti karmaşık yapı gösterebilmekte ve sadece hareketli pencere kullanılması söz konusu skalaları tespit etmek konusunda yetersiz kalabilmektedir; çünkü dinamikler etkisiyle oluşan skalalar değişken periyoda sahip olabilmektedir. Kısacası veri setlerinin yapısı, farklı dinamiklerin etkisiyle oluşan farklı skalalara sahip

bileşenlerin iç içe geçmesiyle karmaşık ve çoklu-skallı hale geldikleri gibi veri setini etkileyen her bir dinamikte meydana gelen değişim neticesinde oluşan zaman skalası da zamana bağlı olarak değişebilmektedir.

Hareketli pencere yönteminde çözülmesi gereken ikinci nokta, hareketli ve aynı zamanda uyarlanabilir pencere geliştirilmesidir. Böylelikle zamana bağlı korelasyon yapısı kesin olarak belirlenebilir. Sonuç olarak hareketli pencere yöntemine ilişkin iki temel sorun çözülmelidir: Seri zaman skalaları temel alınarak bileşenlerine ayrılmalı, hareketli pencere genişliği uyarlanabilir olarak belirlenerek pencere içinde veri setinin durağanlığı mümkün olduğunca sağlanmalıdır (Chen ve diğerleri, 2010: 235).

Çalışmada daha önce belirtildiği üzere serinin bileşenlerine ayrılması EMD yöntemiyle kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Korelasyon katsayısına ilişkin sorunlar da seri bileşenlerine ayrıldığında gözle görülür hale gelerek daha anlaşılır olmaktadır.

Yukarıda belirtilen sorunlarla ilgili Chen ve diğerleri (2010) çalışmasında deneysel örnekler yer almaktadır. Çalışmada korelasyon katsayısına ilişkin 3 temel konuyu içermektedir: 1) çok bileşenli veriler arasındaki korelasyon, 2) zamana bağlı değişen skalalı veriler arasındaki korelasyon, 3) aynı skalalı veriler arasındaki zamana bağlı değişen korelasyon.

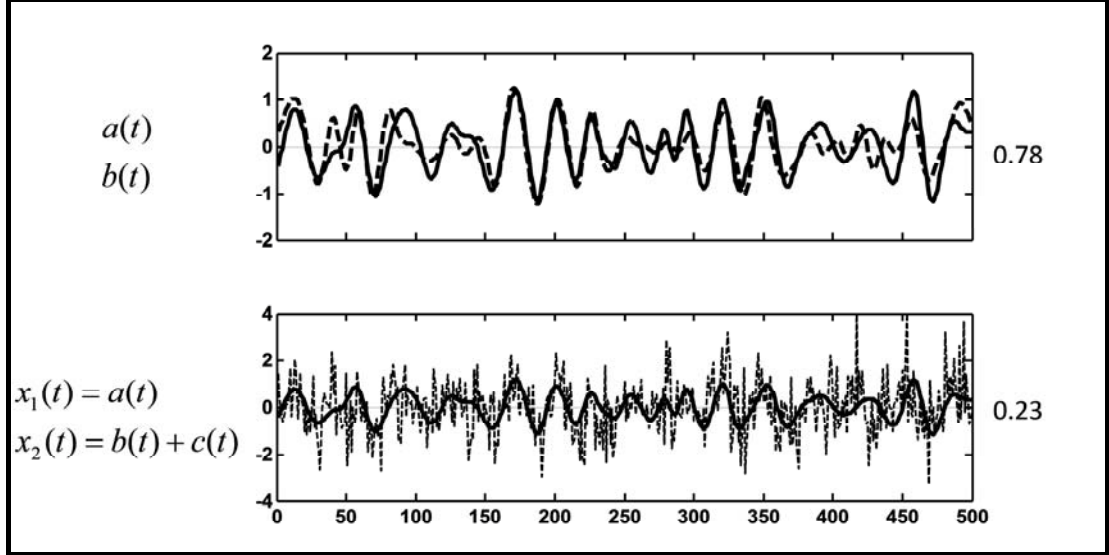
2.5.1.1. Çok Bileşenli Veriler Arasındaki Korelasyon

Bilindiği üzere gerçek dünyaya ilişkin veriler farklı bileşenlerin birbirine karışması sonucu karmaşık niteliktedirler. Bu bileşenlerin birbirinden ayrıştırılmadan korelasyon katsayısı hesaplanması yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Chen ve diğerleri (2010) çalışmasında iki farklı yapay seri, $x_1(t)$ ve $x_2(t)$, kullanılmıştır. Şekil 1 söz konusu yapay serilerin grafiklerini içermekte olup seriler aşağıda ifade edilen biçimde yaratılmıştır:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= a(t) \\ x_2(t) &= b(t) + c(t) \end{aligned} \quad (2.81)$$

burada $a(t)$ ve $b(t)$ aynı zaman skalasına sahip olup aralarındaki korelasyon katsayısı 0,78'dir. $c(t)$ ise beyaz gürültü serisinin EMD yöntemiyle bileşenlerine ayrıştırıldıktan sonra $a(t)$ ve $b(t)$ ile benzer skalalı bileşenlerin, beyaz gürültü serisinden çıkartılmasıyla elde edilmiştir. Bu nedenle, $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ arasındaki beklenen korelasyon değeri, $a(t)$ ve $b(t)$ arasındaki korelasyon katsayısı olan 0,78'dir. Ancak klasik korelasyon formülü kullanıldığında $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ arasındaki korelasyon 0,23 olarak bulunmuştur. Gerçek korelasyon katsayısı gürültülü veri tarafından maskelenmiştir. Dolayısıyla, serilerin bileşenlerine ayrılması dinamikler arasındaki gerçek korelasyon katsayısının hesaplanması için gereklidir (Chen ve diğerleri, 2010: 236).

Şekil 1: Çok Bileşenli Yapay Seriler

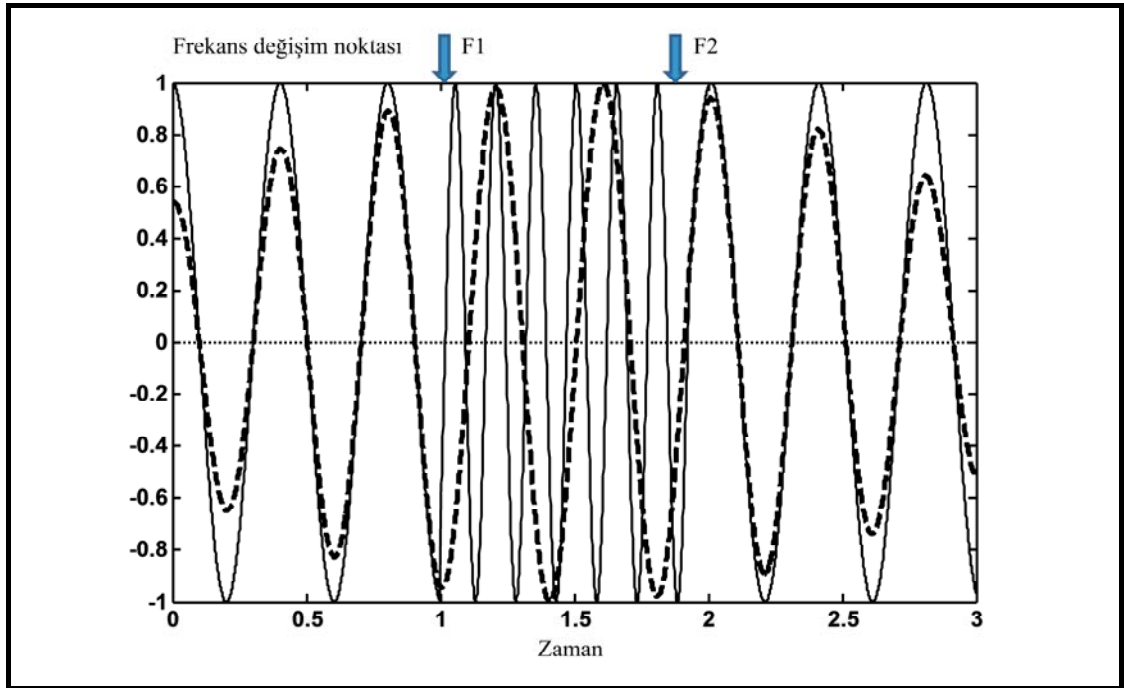


Not: üst panelde a $a(t)$ ve $b(t)$ serileri sırasıyla koyu çizgi ve kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Alt panelde ise $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ serileri sırasıyla koyu çizgi ve kesikli çizgi ile gösterilmiştir

2.5.1.2. Zamana Bağlı Değişen Skalalı Veriler Arasındaki Korelasyon

Veri setlerine ilişkin bileşenlerin frekans ve genlik yapısı zamana bağlı olarak değişebilir. Diğer bir ifadeyle bileşen, AM ve FM modülasyonlu sinyal niteliğinde olup iki sinyal arasındaki korelasyon katsayısı AM ve FM'deki değişimlerden etkilenebilmektedir. Chen ve diğerleri (2010) söz konusu durumu iki kosinüs sinyali kullanarak analiz etmiştir. Şekil 2'de gösterilen kosinüs sinyallerinden birincisi FM modülasyonu göstermektedir. Serinin frekansı belli bir süre sabit değer aldıktan sonra ani olarak yükselmekte ve belli bir süre sonra eski değerine düşerek devam etmektedir. İkinci sinyal ise birinci sinyal ile aynı olan frekans değerine sahip olup AM modülasyonu göstermektedir. Genlik belli bir süre artıp sonra azalmaktadır. Sinyaller 3 saniye uzunluğunda olup her bir saniyelik aralıklar için bulunan korelasyon katsayısı sırasıyla 0,93; 0,01 ve 0,93 olmaktadır. Tüm periyot için hesaplanan korelasyon katsayısı ise 0,6'dır. Sonuç olarak bileşenlerin skalalarında da zamana bağlı değişimler korelasyon katsayısını etkilemektedir (Chen ve diğerleri, 2010: 237).

Şekil 2: Sabit ve Değişen Frekanslı Kosinüs Dalgaları



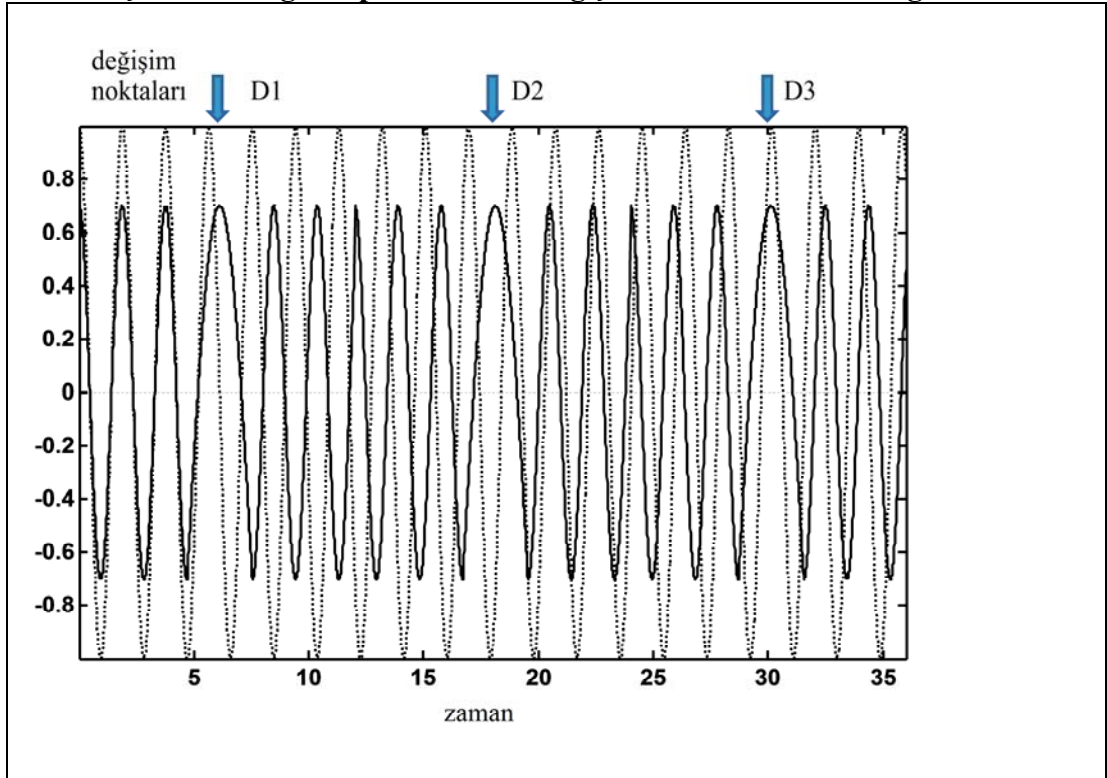
Not: frekans değişimi gösteren kosinüs dalgası kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

0 - 3 saniye için korelasyon katsayısı 0,6 olarak hesaplanmıştır. 0 - 1 ve 1 - 2 saniye için korelasyon 0,9 olarak gerçekleşirken 1 - 2 saniye aralığında korelasyon 0,01 olarak gerçekleşmiştir

2.5.1.3. Aynı Skalalı Veriler Arasındaki Zamana Bağlı Değişen Korelasyon

Bileşenin frekans ve genliğinde değişme olmamasında rağmen dalgalanmanın yapısında meydana gelen değişim de korelasyon katsayısını engellemektedir. Örneğin Şekil 3'te gösterildiği gibi iki kosinüs serisinden birinde bazı noktalarda dalgalanmanın yapısı değişiyorsa - periyot içinde sinüs serine dönüştükten sonra eski haline geri dönüyorsa- korelasyon katsayısı da bu duruma bağlı olarak değişmektedir. Chen ve diğerleri (2010) çalışmasında yukarıda bahsedilen niteliklere sahip iki sinyal arasındaki korelasyon katsayısı 0,01 bulunmuştur. Korelasyonun düşük çıkmasının sebebi negatif ve pozitif korelasyonun sinyal süresinin tümü ele alındığında birbirlerini yok etmesidir.

Şekil 3: Dalga Yapısı Sabit ve Değişken Olan Kosinüs Dalgaları



Not: yapısında değişim meydana gelen kosinüs dalgası koyu çizgi ile gösterilmiştir.

2.5.2 Modern Korelasyon Yaklaşımı: TDIC

Chen ve diğerleri (2010) serinin bileşenlerine ayrıştırılmasına ek olarak hareketli pencerenin korelasyonu doğru olarak hesaplaması için, bileşenlerin her birinde meydana gelen değişimleri dikkate alabilecek pencere genişliğinin belirlenmesinin zorunlu olduğunu göstermiştir. Deneysel verilerin aksine, gerçek hayata ait verilerin bileşenlerine ilişkin pencere genişliğinin belirlenmesi oldukça zordur. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Chen ve diğerleri (2010) EMD yöntemine dayanan "Zamana Bağlı İçsel Korelasyon (Time Dependent Intrinsic Correlation - TDIC)" yöntemini geliştirmiş olup yöntemin aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

1. aşamada veri setleri EMD yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılır:

$$X(t) = \sum_{i=1}^N c_{p,i}(t) + r_{p,i}(t), \quad p = 1, 2 \quad (2.82)$$

burada $c_{p,i}(t)$ IMF bileşenini, $r_{p,i}(t)$ ise trend bileşenini ifade eder.

2. aşamada IMF bileşenlerine ilişkin anlık frekans, $F_{p,i}(t)$, ve anlık periyot, $T_{p,i}(t)$, değerleri hesaplanır.

3. aşamada ise hareketli pencere ve buna bağlı olarak bileşenler arasındaki TDIC korelasyon hesaplanır:

$$R_i(t_k^n) = \text{Corr}(c_{1i}(t_w^n), c_{2i}(t_w^n)),$$
$$t_w^n = \left[t_k \pm n \left(\frac{t_d}{2} \right) \right], \quad (2.83)$$

$$t_d = \max(T_{1i}(t_k), T_{2i}(t_k))$$

burada $R_i(t_k^n)$ korelasyon katsayısını gösterir. t_w^n , hareketli pencere genişliğini ifade etmekte olup her bir zaman noktasında, t_k , bileşenler arasındaki maksimum anlık periyot, t_d , ve n pozitif gerçel sayı tarafından belirlenir.

Hareketli pencere genişliği anlık periyot kullanılarak hesaplandığı için uyarlanabilir nitelikte olup durağan olmayan verilerde de kullanılabilir, böylece korelasyon yöntemi veri setinin içerdiği dinamikleri yansıtan niteliktedir. Bu nedenle korelasyon hesaplama yöntemi "içsel" olarak adlandırılmıştır. Pencere genişliğinin t_d değerine eşit ya da daha büyük olması durumunda en azından IMF bileşenlerinden birine ait anlık periyot yerel korelasyon katsayısının hesaplanmasında kullanılabilir. t_w^n anlık periyot değerinin n katı olacak; dolayısıyla istatistiksel anlamlılık testi uygulanabilecektir (Chen ve diğerleri, 2010: 242). Bileşenler arasındaki anlık periyot değerleri anlamlı korelasyon katsayısı için minimum hareketli pencere uzunluğunu vermekte olup anlamlılık için sınır değeri ifade eder. Çünkü pencere genişliğinin anlık periyottan küçük olması durumunda korelasyon değeri şiddetli dalgalanmalar gösterecektir. İstatistiksel anlamlılık testlerini geçse bile söz konusu değerler fiziksel olarak anlamlı olmayabilir.

Durağan serilerde istatistiksel olarak alt periyotların varyansı, serinin varyansına eşit olmaktadır. Bu yüzden durağan serilerde TDIC sabit olup klasik korelasyon katsayısı hesaplama yöntemiyle aynı sonucu verecektir. Pearson korelasyon yöntemi doğrusal ilişkiyi ölçmekte kullanılan bir yöntemdir. Buna karşın Spearman rank korelasyon yöntemi bir seri artarken diğer serinin ne ölçüde artma eğiliminde olduğunu, söz konusu artışın doğrusal olduğu varsayımına başvurmadan hesaplamaktadırlar. İki korelasyon yöntemi birbirlerinin tamamlayıcı niteliktedirler. Dolayısıyla, TDIC yönteminde korelasyon katsayısı Pearson yöntemine ek olarak Spearman yöntemi de hesaplanmıştır.

2.6. HHT VE FİNANSAL VERİ ANALİZİ

Bu bölümde HHT analizinin, frekans/enerji analizi yanında, finans alanında yararlı olabilecek diğer kullanım alanı olan "Filtreleme" ve bunun sonucunda gerçekleştirilebilmesi olanaklı hale gelen "Doğrusal Olmayan Trend Analizi" ele alınmıştır. Ayrıca HHT analizinin finansal fiyat serilerinde tahminleme etkinliğini arttırmak amacıyla geliştirilen ve finansal fiyat serilerinin özelliklerini dikkate alan "EMD Temelli Normalleştirme" yaklaşımları incelenmiştir.

2.6.1. HHT Analizi ile Doğrusal Olmayan Trend Analizi

Bu bölümde kısaca finansal veriye ilişkin özellikler incelenecektir. Daha sonra ise HHT yönteminin finans alanında kullanılabilir potansiyel alanlar tartışılacaktır. Kısaca belirtmek gerekirse, HHT yöntemi konjonktür analizi ve verinin filtrelenmesi konularında kullanılabilir. Ayrıca Trend analizi amacıyla EMD etkin biçimde kullanılabilir. Ayrıca genel olarak HHT analizi ile finansal veri bileşenlerinin frekans-zaman analizi yapılabilir. Ayrıca finansal verilerde görülen hızlı fiyat değişimlerinin analizi için geliştirilen normalleştirme sürecini temel alan iki farklı yöntem bu bölümde açıklanacaktır.

2.6.1.1 Finansal Fiyat ve Getiri

Finansal uygulamalarda fiyat serileri yerine ardışık fiyat verisinin birbirlerine oranı olan getiri serileri kullanılır.

$$r_t = \log(P_t / P_{t-1}) \cong \frac{(P_t - P_{t-1})}{P_t} \quad (2.84)$$

burada r_t getiri P_t ise t noktasındaki fiyat verisini ifade eder. Fiyat yerine getiri serilerinin kullanılmasının sebebi fiyat serisi durağan olmasa bile getiri serisinin görünürde durağan olmasıdır (Huang ve diğerleri, 2003a: 246). Fakat getiri serisi Wiener süreci özelliklerine yakınsamakla birlikte süreci tam olarak

sağlayamamaktadır. Temel anlamda Wiener süreci, her bir zaman noktasında rassal sıçramalar içeren süreğen (continuous-time) nitelikteki rassal yürüyüş süreci olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla Wiener süreci birbirini takip eden rassal adımları ifade eder; her adım fiyat serisindeki değişimi gösterir ve rassal niteliklidir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse Wiener süreci:

$$W_0 = 0,$$

$$W : t \rightarrow W_t, \text{ süreğen} \quad (2.85)$$

$$W(t) - W(s) \sim N(0, t - s), \quad 0 \leq s < t$$

Fiyat serilerinin durağan olmamasına rağmen seriden durağan nitelikte getiri serisi türetilmesi zorunluluğunun sebebi istatistiksel yöntemlerin çoğunun sadece durağan seriler için geçerli olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin serinin sabit ortalamaya sahip olması varsayımı standart sapma ya da varyans hesaplanması için gereklidir. Getiri serisinin dezavantajı ise piyasadaki gerçek değişimlerin göz ardı edilerek yerel değişimler yerine verinin global olarak incelenmesidir. Ancak fiyat serileri durağan olmamakta dolayısıyla yerel dinamikler baskın hale gelmektedir ve söz konusu yerel dinamiklerin incelenmesi seriye ilişkin doğru çıkarsamalar yapılabilmesi için kritik öneme sahiptir.

2.6.1.2. HHT Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Filtreleme İşlem ve Trend Kavramı

2.6.1.2.1. EMD ve Filtreleme İşlemi

IMF veriyi etkileyen dinamiklerin tanımlanmasında kullanılabileceği gibi filtre (filtering) amacıyla da kullanılabilir. Klasik anlamda filtre frekans düzeyinde gerçekleştirilebilirken EMD yöntemi ile filtre işlemi zaman boyutunda gerçekleştirilebilir. Klasik filtre teknikleri serinin durağan ve doğrusal olduğu varsayımına dayanır; varsayımın ihlali durumunda ise filtre işleminde bozulmalar

meydana gelmektedir. Söz konusu bozulmalar filtre aralığında olabileceği gibi filtre aralığı dışında da meydana gelmektedir. Dolayısıyla klasik filtre kullanılması hatalı sonuçlar ifade edebilir. EMD yönteminin filtre olarak kullanılması ile finansal zaman serisinin barındırdığı dinamiklerin etkisiyle oluşan dalgalanmalar birbirlerinden ayrıştırılabilmektedir.

EMD yöntemi seri bileşenlerini yüksek frekanstan düşük frekansa doğru ayrıştırmasından ötürü düşük frekans geçişli filtre, yüksek frekans geçişli filtre ya da bant geçişli filtre uygulamaları gerçekleştirilebilir. Klasik filtre yöntemlerinin aksine EMD kullanılarak yapılan filtre sürecinde herhangi doğrusal olmayan bileşen yok edilmez böylece sonuçlarda yöntemden kaynaklanan deformasyonlar görülmez. Dolayısıyla, IMF doğrusal olmayan filtre yöntemi olarak kabul edilebilir.

2.6.1.2.2. EMD ve Trend Analizi

Ampirik analizlerde trend ve trend ayrıştırma (detrending) önemli bir yer tutmaktadır. Korelasyon fonksiyonu ya da spektral analiz gibi birçok uygulamalarda doğru sonuç elde edilebilmesi amacıyla trendin veri setinden ayrıştırılması gerekmektedir. "Trend Ayrıştırma - Detrending" olarak adlandırılabilen bu uygulamalar, serinin sahip olduğu sabit/sıfır olmayan ortalamasının veya trend bileşeninin analizi sonuçlarını anlamsız kılmasını; ya da durağanlık benzeri matematik kuralların ihlalini önlemek için uygulanmaktadır.

Trend olgusunun ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasının ya da trendi oluşturan nedenlerin ortaya çıkarılmasının veri analizinde kritik öneme sahip olması gerekirken trendin varlığı olağan ve serinin içsel-ayrışmaz dinamiklerden kaynaklandığı kabul edilmektedir. Örneğin istatistik bilimi trendi; tüm veri seti boyunca görülen genel eğilim olarak tanımlarken söz konusu eğilimin yeni gözlemler ortaya çıktıkça devam edeceğini varsayar. Frekans analizinde ise trend, belirlenen eşik frekanstan daha yüksek frekansa sahip bileşenlerin veriden ayrıştırılması sonucu kalan kalıntı olarak tanımlanabilir. Ancak, doğrusal olmayan ve durağan olmayan serilere ilişkin trend ve buna bağlı olarak trend ayrıştırma olgularına ilişkin tanımlar kesin olarak

yapılamamıştır. Dolayısıyla trend ve detrending tanımlarına ilişkin uygun tanımların yapılamamış olması, söz konusu olgular üstüne nicel ve tanımlayıcı bilimsel çalışma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda, trend tanımı ve trend ayrıştırılmasına ilişkin yöntem genel olmalı ve doğrusal olmayan ve durağan olmayan tüm veri türlerine uygulanabilmelidir (Wu ve diğerleri, 2007: 14889).

2.6.1.2.2.1. Trend Tanımları

Trend tanımları, genel olarak i) dışsal ve önceden tanımlanmış trend ve ii) içsel ve uyarlanabilir trend olarak ikiye ayrılabilir.

2.6.1.2.2.1.1. Dışsal ve Önceden Tanımlanmış Trend

Uygulamada en çok kullanılan yöntemlerden biri, seriye en iyi uyan doğrunun basit trend olarak kabul edilmesidir. Buna bağlı olarak trend ayrıştırma işlemi genellikle söz konusu doğrunun seriden çıkarılmasını ifade etmekte olup kalan kısım sıfır ortalamalı kalıntıyı ifade etmektedir. Bu yöntem, doğrusal ve durağan veriler için anlamlı sonuç verebilirken gerçek veri setlerinde fiziksel olarak anlamlı sonuç elde etmek beklenemez (Wu ve diğerler, 2007: 14890).

Diğer temel trend hesaplama yöntemi ise hareketli ortalama yöntemidir. Hareketli ortalama yöntemini uygulanabilmesi için zaman skalası önceden belirlenmelidir. Ancak önsel olarak belirlenen zaman skalası rasyonel bir uygulama olamaz çünkü durağan olmayan ve doğrusal olmayan süreçlerde zaman skalasını önsel olarak bilinmesi olanaksızdır.

Regresyon analizi ya da Fourier dönüşümüne dayanan trend ayrıştırma yöntemleri daha karmaşık yöntemler olmalarına rağmen durağanlık ve doğrusallık varsayımlarına dayanmaktadırlar. Durağan olmayan veri setinin analizi sürecinde trendin hesaplanması amacıyla doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılsa bile söz konusu trend global olarak veri setini temsil edememekte, ayrıca zamandan bağımsız yani yerel değişimleri göz ardı eden regresyon modellerinin kullanılması

hatalı sonuçlar doğurabilmektedir. Önsel olarak belirlenen fonksiyonlar aracılığıyla elde edilen çeşitli eğrisel formların kullanılması sübjektif nitelikte olup verideki dinamiklerin söz konusu basit ya da karmaşık formları takip edeceğine dair bir varsayımda da bulunulamaz. Sadece veri setine ilişkin tüm dinamiklerin bilinmesi halinde önsel olarak belirlenen fonksiyonlar aracılığıyla trend doğru olarak belirlenebilir (Wu ve diğerleri, 2007: 14889).

2.6.1.2.2.1.2. İçsel ve Uyarlanabilir Trend

Yukarıda belirtilen trend tanımları ve bunlara ilişkin yöntemler genellikle önsel olarak tanımlanmış parametreler ve sübjektif ya da dışsal fonksiyonlar içermektedir. Dolayısıyla dışsal fonksiyon ya da varsayımlardan bağımsız olarak trendin tanımlanması doğru trend fonksiyonunun hesaplanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu açıdan trend fonksiyonunun sahip olması gereken nitelikler incelenmelidir. Öncelikle trend, verinin içsel bir bileşeni olmalıdır. Veriyle bütünlük olmalı; dolayısıyla veriyi etkileyen dinamiklerin tümü ya da bazıları tarafından etkilenebilmelidir. Bu nedenle detrending süreci uyarlanabilir olmalı ve verinin içerdiği dinamikleri ortaya çıkarabilecek niteliğe sahip olmalıdır. Önsel olarak seçilmiş fonksiyon ya da parametreler söz konusu niteliğe sahip değildir (Wu ve diğerleri, 2007: 14890). Veri setinin tümü kullanılarak elde edilen trend ile serinin belli bir zaman aralığında seçilen alt periyoda ilişkin hesaplanan kısa dönemli trend, söz konusu zaman aralığında aynı olmalıdır. Dolayısıyla, trend yerel olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca yerel zaman skalası temel alınarak belirlenmiş trend yeni veri oluşumundan etkilenmeyebilir. Yerel zaman skalası temel olarak veriyi etkileyen dinamiklerin veri üzerindeki etki süreleri olarak tanımlanabilir. Bu etki aralıkları uç nokta ve sıfır-kesişme arasındaki geçen zaman olarak hesaplanabilir; çünkü dinamikler verinin yönünü etkileyerek düzlemsel olarak pozitif ve negatif yönde veriyi etkilemektedirler. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, yeni veri oluşumunun serinin sahip olduğu genel trendi etkileyebilmesi ya da yeni bir trend oluşturabilmesi olasılığıdır. Dolayısıyla, trend ve döngü hareketleri birbirinden ayrıştırılabilir olmalıdır: belirli bir veri aralığında en fazla bir adet uç nokta içeren eğri trend olarak tanımlanabilir. Daha ayrıntılı bir ifadeyle, trend içsel olarak

uyarlanabilir monoton fonksiyon ya da belli bir zaman aralığında en fazla bir ekstrem nokta içeren fonksiyon olarak da tanımlanabilir. Burada zaman aralığı tüm veri seti olabileceği gibi serinin belirli bir alt periyodu da olabilir. Tanımdaki en kritik nokta fonksiyona ait önsel bir form ya da parametrik yapı ifadesinin yer almamasıdır. Trend doğru biçimde tanımlandıktan sonra ise trend ayrıştırma süreci kısaca aşağıdaki biçimde ifade edilebilir: Ayrıştırma süreci, seriden trendin ayrıştırılması süreci olup değişkenlik (variability) seriden trendin çıkarılmasından sonra kalan kalıntıdır (Wu ve diğerleri, 2007: 14891).

2.6.2. Finans ve Ekonomi Verileri Analizinde Modern Yaklaşım: EMD Temelli Normalleştirme

Finansal verilerin birçoğu yüksek artış ve azalış oranlarına sahiptir. Durağanlık kısıtına sahip yöntemlerle söz konusu verilerin analizi olanaksızdır. Yöntemlere ilişkin kısıtlar nedeniyle fark alma işlemleriyle veriler durağan serilere yaklaştırılır. Uygulama açısından fark alma işlemi yararlı sonuçlar doğurur; çünkü fark alma işlemi doğrusal bir işlem olup etkin biçimde uzun dönemli dalgalanmaları, hatta trendi baskılayarak veriyi yarı durağan biçime dönüştürür. Dahası, fark alma işlemi aracılığıyla veri dalgalanmalarına ilişkin istatistiksel özellikler nispeten incelenebilir; örneğin doğrusallık varsayımı altında Fourier analizi farkı alınmış seriye uygulanabilir. Ancak işleme tabi tutulan seri yüksek artış oranına sahipse fark alma işlemi gibi basit doğrusal işlemler yeterli olamaz. Dahası, fark alma işleminin veri aralığını daraltmasına ve seriyi yarı durağan hale getirmesine rağmen veri aralığı oldukça yüksek ve zamana bağlı değişken nitelikte olabilmektedir. Bu durumu yok etmek için veri seti getiri serisine dönüştürülür:

$$r_t = d[\log X(t)] = \frac{d[X(t)]}{X(t)} \quad (2.86)$$

burada $d[\cdot]$ fark alma işlemi, r_t ise getiri serisini ifade eder. Getiri fiziksel olarak serideki belirli bir zaman noktasındaki kısmi değişimi ifade eder. Getiri serisi dar bir alanda dalgalanmaktadır, ancak getiri serileri dikkatli incelendiğinde yukarı/aşağı

yönlü küçük sapmalar ve şiddeti değişim gösteren dalgalanmalar içermektedir. Dolayısıyla getiri serisi ancak yarı-durağan niteliktedir. Durağanlık varsayımının kısmen gevşetilmesi (aşılmasıyla) tüm istatistiksel ve ekonometrik araçlar getiri serisinde kullanılabilir. Ancak getiri dönüşümüne ilişkin şüpheler varlığını sürdürmektedir. Getiri serisindeki dalgalanmaların fiyat serisindeki artış oranını etkin olarak yansıtmayı yansıtmadığı, logaritma alınması işlemiyle yok olan bilgi miktarı ve trendin ayrıştırılmasıyla seride meydana gelen yapay değişimler konularında şüpheler bulunmakta olup söz konusu şüphelere ilişkin net bir cevap elde edilememiştir. Çünkü geçmişte fiyat serisine doğrudan uygulanabilen analiz yöntemleri bulunmamaktadır.

Bu çalışmada HHT ve finansal verilerin özelliklerini dikkate alan normalleştirme yöntemleriyle fiyat serisinin analizi yapılmıştır. Normalleştirme süreci ile finansal veri setinin içerdiği dinamik ve döngülerin daha etkin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Dolayısıyla finansal veri setinin gösterdiği ani artış/azalışlar ile güçlü genel eğilimlerin HHT yöntemiyle analiz edilebilirliğinin geliştirilmesi de hedeflenmiştir. Kısaca, bu çalışmada veri setinin dar bir bant aralığında dalgalanmasını sağlamak amacıyla normalleştirme işlemi uygulanmıştır; daha sonra HHT yöntemi kullanılarak dalgalanmaların yapısı incelenmiştir.

2.6.2.1. Normalleştirme Süreci

Finansal veri setlerinin HHT analizinin açısından normalleştirilmesine ilişkin ilk çalışma Huang (2012) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da normalleştirme süreci açısından Huang (2012) çalışması temel alınmıştır. Normalleştirme sürecinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle normalleştirme referansının belirlenmesi gerekmektedir. Etkin bir normalleştirme işlemi için normalleştirme referansının tüm veri setini kapsamaması ve ani değişimler içermemesi gerekmektedir. Böylelikle normalleştirme süreci etkin biçimde veri setini dar bir bant aralığına yerleştirebilir. Normalleştirme referansının özellikleri dikkate alındığında doğal olarak ilk akla gelen olgu trendin normalleştirme referansı olarak kullanılabilir. Trendin

belirlenmesi oldukça zor bir süreç olmasına rağmen HHT yöntemi kullanılarak trend bileşeni belirlenebilir.

HHT yönteminin doğrudan uygulanması veri analizi için bir seçenek olabilir. Ancak veri setinin sahip olduğu yüksek ivme, yüksek hızlı artışın görüldüğü zaman periyodunda, baskın frekans yapısı oluşturarak Hilbert spektrumunda düşük frekans yapısını gölgeleyebilmektedir. Ayrıca yüksek artış oranının görüldüğü dönemlerde dalgalanmalar uç nokta üretemeyebilir. Dolayısıyla, trend bileşeninde gizli kalmış dinamikler barınabilir, bu olguya "saklı skalalar" (hidden scales) adı verilir (saklı skala olgusuna ilişkin detaylı bilgi için bakınız: Huang ve diğerleri, 1999). Bu nedenle, dinamiklerin etkin biçimde belirlenebilmesi için normalleştirme süreci kullanılabilir.

İki farklı normalleştirme süreci bu çalışmada uygulanmıştır:

- 1) Doğrusal olmayan yinelemeli EMD temelli normalleştirme (Nonlinear Iteratively EMD based Normalization)
- 2) Direkt EMD temelli normalleştirme (Direct EMD based Normalization)

2.6.2.2. Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme

Fiyat serileri grafiksel olarak incelendiğinde genel olarak iki olgu göze çarpmaktadır: Yukarı yönlü genel kayma ve artan ivmeli - üstel hareket benzeri - yerel artış ve azalışlar. Söz konusu iki olgu seride ekstrem nokta oluşmasını engelleyerek dalgalanmalara ilişkin dinamiklerin EMD yöntemi tarafından algılanmasını engelleyebilir. Bu yöntemin etkinliğinin artırılabilmesi normalleştirme süreci uygulanabilir. Bu süreçte veri setindeki genel kaymaların tespit edilmesi ve şiddetli artış/azalışların baskılanması amacıyla logaritmik fonksiyonlar kullanılarak genel kayma hareketi filtrelenmekte; sonrasında ise filtrelenmiş seri bileşenlerine ve trend serisine ayrıştırılmaktadır. Filtrelenmiş serinin trendi ile genel kayma hareketinin bileşimi doğrusal olmayan trendi ifade etmektedir. Modelin son

aşamasında veri seti üstel hale getirilmiş doğrusal olmayan trend ile normalleştirilmektedir.

Dolayısıyla M-EEMD yönteminin etkinliğinin artırılabilmesi için aşağıda ifade edilen normalleştirme süreci uygulanabilir:

1. aşamada artan ivmeli artış ve azalışları baskılamak için serinin logaritması alınır

$$\log(x(t)) = lx(t) \quad (2.87)$$

2. aşamada serisine en uygun polinom fonksiyonu bulunarak yukarı yönlü genel kayma hareketi bulunur. Daha sonra ise logaritmik seriden polinom çıkarılır

$$pf[lx(t)] = y(t) \quad (2.88)$$

$$lx(t) - y(t) = z(t) \quad (2.89)$$

burada $pf[\cdot]$, polinomsal uyarılama işlemini ifade eder.

3. aşamada ise fark serisine M-EEMD yöntemi uygulanır ve trend tespit edilir:

$$z(t) \rightarrow M - EEMD \rightarrow \sum IMF + T \quad (2.90)$$

burada T trend bileşenini ifade eder. Daha sonra polinom ile trend toplanarak logaritmik veriyi yansıtan "doğrusal olmayan ve tedrici değişen trend bileşeni" elde edilir.

$$y(t) + T = lr(t) \quad (2.91)$$

4. aşamada, şu ana kadar logaritması alınmış seri üzerinde çalışıldığı için, doğrusal olmayan trendin anti logaritması alınarak serinin kendisi için gerekli normalleştirme referansı elde edilir.

$$\exp[lr(t)] = r(t) \quad (2.92)$$

5. aşamada ise seri normalleştirme referansı ile normalleştirilerek M-EEMD yöntemi uygulanır.

$$\frac{x(t)}{r(t)} = n(t) \quad (2.93)$$

$$n(t) \rightarrow M - EEMD \rightarrow \sum IMF \quad (2.94)$$

Normalleştirme sürecinin en büyük avantajı uzun dönemli ekonomi dalgalanmalarını incelenmesini olanaklı kılmasıdır. Fiyat serisinin getiri serisine dönüştürülmesi süreci temel olarak ardışık iki fiyat verisine ait farkın geçmiş fiyat verisi ile normalleştirilmesini ifade etmektedir ve söz konusu dönüşümü uzun dönemli dalgalanmaları baskı altına almaktadır.

2.6.2.3. Direkt EMD Temelli Normalleştirme

Bu yöntemde M-EEMD yöntemi kullanılarak elde edilen trend bileşeni normalleştirme referansı olarak kullanılmaktadır. Genel olarak normalleştirme işleminin uygulanmasına ilişkin iki yaklaşım vardır: toplamsal (additive) ve çarpımsal (multiplicative) normalleştirme yaklaşımları. EMD yöntemi kullanılarak yapılan normalleştirme sürecinde her iki yaklaşım da aynı sonucu vermektedir. Uygun M-EEMD parametreleri kullanılarak elde edilen trend bileşeni veri setinin normalleştirilmesi için uygun referans eğrisi olarak kullanılabilir. Normalleştirme süreci sonunda veri setindeki dalgalanmalar daha belirgin hale gelebilmektedir. Normalleştirme sürecinin gerçekleştirilmesi sırasında M-EEMD uygulanması aşamalarında veri setinin sahip olduğu özellikleri dikkate alan doğru M-EEMD

parametrelerinin tespit edilmesi fiziksel olarak anlamlı doğru bileşenlerine ayrılması açısından kritik öneme sahiptir.

Normalleştirme işleminin uygulanmasına ilişkin temel yaklaşımlar olan toplamsal (additive) ve çarpımsal (multiplicative) normalleştirme yaklaşımlarının ikisi de M-EEMD yöntemi kullanılarak yapılan normalleştirme sürecinde aynı sonucu vermektedir: Herhangi bir veri setinin M-EEMD yöntemiyle aşağıda ifade edilen biçimde gösterilebilir:

$$x(t) = \sum_{j=1}^N c_j(t) + T \quad (2.95)$$

burada $c_j(t)$ IMF bileşenini, T ise trend bileşenini ifade etmektedir. Toplamsal normalleştirme yaklaşımında trend, normalleştirme işleminden önce veriden çıkarılır:

$$y(t) = \frac{x(t) - T}{T} = \frac{\sum_{j=1}^N c_j(t)}{T} \quad (2.96)$$

burada $y(t)$ toplamsal normalleştirilmiş veriyi gösterir. Çarpımsal yaklaşımda ise veri doğrudan trend bileşeniyle normalleştirilir:

$$z(t) = \frac{\sum_{j=1}^N c_j(t) + T}{T} = y(t) + 1 \quad (2.97)$$

işlem sonucunda elde edilen veri, toplamsal normalleştirilmiş veriye 1 eklenmiş seriye eşittir. Özetlemek gerekirse, direkt M-EEMD temelli normalleştirme sürecinin ilk aşamasında veriye doğrudan M-EEMD yöntemi uygulayarak trend bileşeninin bulunmakta; İkinci aşamada ise seri trend bileşeniyle normalleştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Son aşamada ise normalleştirilmiş veriye M-EEMD yöntemi uygulanarak verideki dalgalanmalar incelenir. Normalleştirme sürecinde dikkat

edilmesi gereken nokta trend bileşeninin belirlenmesidir. M-EEMD yöntemi sonrasında elde edilen kalıntı sabit bir sayı ya da sıfır olabilir. Bu durumda, serideki düşük frekanslı IMF bileşen ya da bileşenlerinin toplamı trend olarak kabul edilebilir.

Yukarıda özellikleri ifade edilen modellerden M-EEMD, Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme ve Direkt EMD Temelli Normalleştirme Yöntemleri finansal zaman serilerinin özelliklerini dikkate almaları nedeniyle finansal analiz açısından uygulanması daha avantajlı olabilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HHT ANALİZ SONUÇLARI

Bir önceki bölümde sırasıyla EMD yöntemi, EEMD yöntemi, M-EEMD yöntemi, Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme Yöntemi ve Direkt EMD Temelli Normalleştirme Yöntemi detaylı biçimde açıklanmıştır. Bahsedilen her yöntem bir önceki yöntemin geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu yöntemlerden Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme ve Direkt EMD Temelli Normalleştirme yöntemleri, finansal fiyat serilerinin karakteristik özelliklerini modelleme sürecine dahil etmeleri nedeniyle finansal analiz açısından daha üstün niteliklidir.

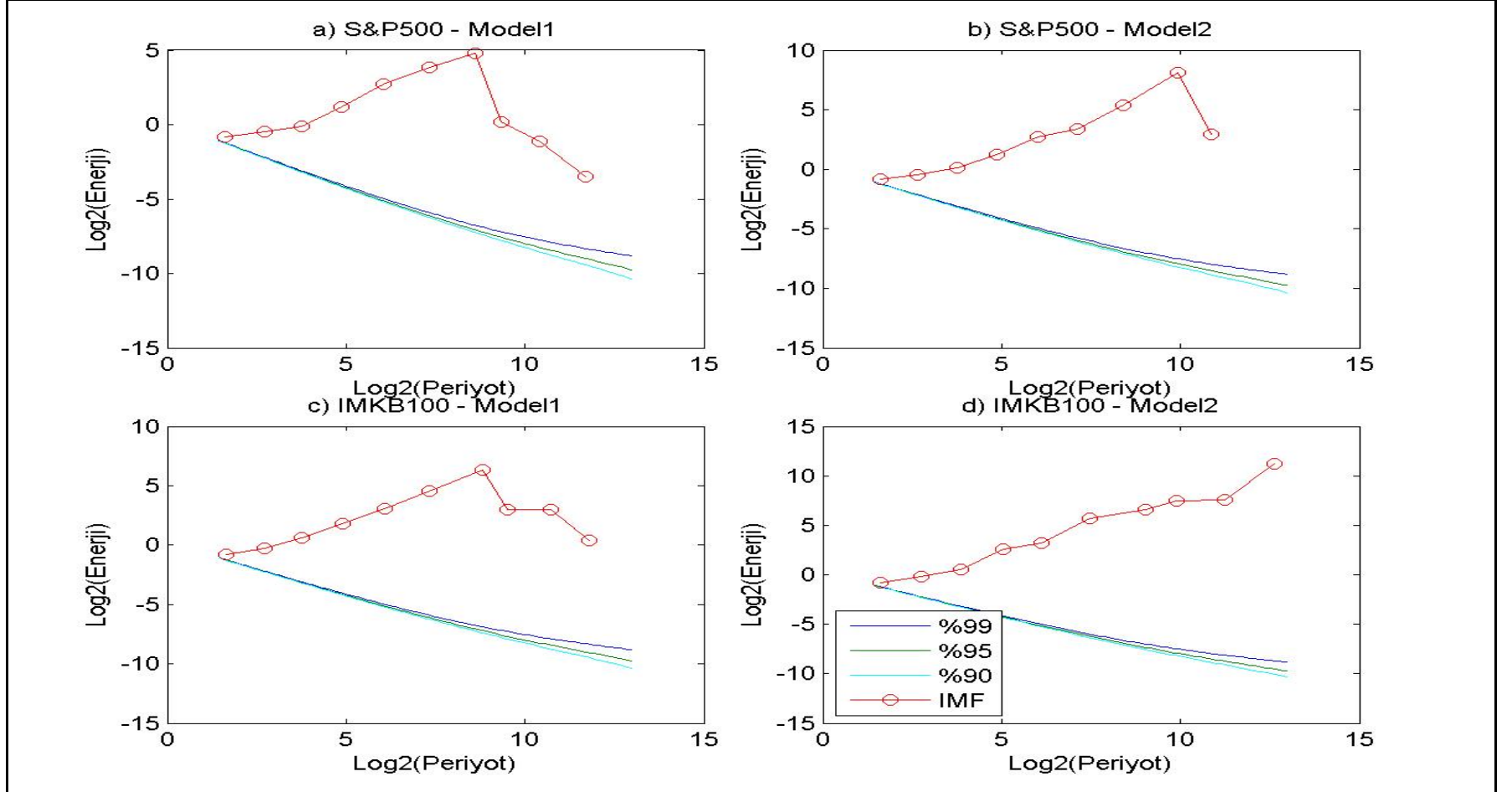
Söz konusu modeller fiyat serilerinin göstermiş olduğu şiddetli üstel artış eğilimi, uzun dönemli şiddetli artış ve azalışlar, kısa dönemli şiddetli şoklar ve kısa dönemli şiddeti oldukça düşük fiyat değişimleri gibi karakteristik finansal veri özelliklerini dikkate almaktadırlar. Özellikle normalleştirme süreci ile hem şiddetli artış ve azalış eğilimleri hem de çok küçük fiyat değişimleri tespit edilebilmektedir. Dolayısıyla, bu bölümde Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme ve Direkt EMD Temelli Normalleştirme yöntemlerinin sonuçları detaylı olarak incelenmiş olup okuyucuya kolaylık olması açısından söz konusu yöntemler sırasıyla "Model1" ve "Model2" olarak adlandırılmıştır. Ayrıca söz konusu modellerin temel olarak M-EEMD yöntemini kullanması nedeniyle M-EEMD yönteminin sonuçları da ekte yer almakta olup M-EEMD modeli kısaca "Model3" olarak adlandırılmıştır.

Çalışmada, 2 Ocak 1991 - 26 Nisan 2011 dönemine ait günlük S&P 500 ve İMKB 100 fiyat endeksleri analiz edilmiştir. Kullanılan günlük veriler "Yahoo! Finance" internet sitesinden elde edilmiştir.

3.1. ANLAMLILIK TESTİ SONUÇLARI

Fiyat endekslere ait bileşenlerin detaylı olarak analiz edilmesinden önce, bileşenlerin frekans - enerji yapısının beyaz gürültü serisine ilişkin frekans - enerji yapısından farklı olup olmadığı tespit edilmelidir. Diğer bir ifade ile, elde edilen bileşenlere ilişkin frekans - enerji değerlerinin gürültü serilerine ait frekans - enerji özelliklerinden istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmelidir. Model1 ve Model2 kullanılarak elde edilen bileşenlerin anlamlılık testi sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Her iki model kullanılarak elde edilen ilk bileşenlerin güven aralıklarına oldukça yakın olmalarıyla birlikte diğer tüm bileşenler %90, %95 ve %99 güven aralıklarını geçmiş olup istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla, elde edilen ilk bileşenlerin enerji yapıları gürültü serilerine oldukça benzemektedir ve oldukça gürültülü bir yapıya sahiptir. Diğer tüm bileşenler ise gürültü serisinden farklı yapı göstermektedir. Dolayısıyla, istatistiksel olarak anlamlı bilgiler içermektedir ve HHT analizi için uygundur. Çalışmada enerji yapısının detaylı olarak analiz edilmesi amacıyla birinci IMF bileşenleri de analize dahil edilmiştir.

Şekil 4: Anlamlılık Testi Sonuçları



3.2. S&P 500 ENDEKSİNE İLİŞKİN HHT ANALİZ SONUÇLARI

3.2.1. IMF Bileşenlerine Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde önce finansal piyasa endekslerinin EMD temelli çeşitli modeller kullanılarak elde edilen IMF bileşenleri incelenmiştir. Daha sonra ise trend ve endeks genel seviyesindeki değişimleri ifade eden kalıntı terimleri incelenmiştir. Elde edilen bileşenlerin görsel olarak yorumlanması bileşenin sahip olduğu kritik öneme sahip değişimlerin tespit edilememesine neden olabilir. Çünkü bileşenler genel olarak incelendiğinde dalgalanmaların zirve - dip noktaları ile yoğunlaştığı veya seyrekleştiği dönemlerin gözlenmesine rağmen bileşenlerde meydana gelen frekans ve enerji dalgalanmaları, genel seviye eğilimleri ile frekans ve enerji zirveleri sadece spektrum analizi ile tespit edilebilir. Bileşenin kendisi yerine bileşenin sahip olduğu frekans ve enerji seviyelerinde meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi; seriyi meydana getiren bileşenlerde meydana gelen önemli değişimleri ve değişimlerin nedenlerinin analiz edilmesinde gerekli bir unsurdur. Dolayısıyla, çalışmanın bu bölümünde EMD yöntemine ilişkin sadece teknik analiz yorumları gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş bir analiz yöntemi olan spektrum analizi ise bir sonraki bölümde daha detaylı incelenmiş ve spektrum sonuçları piyasa değişimleri ile finans açısından yorumlanmıştır.

Bileşenlerin analizi sürecinde yüksek frekanslı bileşenlerde meydana gelen ani artış ve azalışlar analiz edilirken orta ve düşük frekanslı bileşenlerde ise bileşenlerin sahip olduğu dalgalanmalardaki dip ve zirve noktaları analiz edilmiştir. Her bir IMF temel olarak fiyat endeksinin belirli bir bölümünü ifade eder. Yüksek frekanslı bileşenler fiyat endeksine ait kısa dönemli nispi değişimleri gösterirken düşük frekanslı bileşenler ise fiyat serisinin sahip olduğu uzun dönemli nispi değişimlerini ifade etmektedir. Bu nedenle her bir IMF fiyat endeksindeki nispi katkıyı göstermektedir. Özellikle orta ve düşük frekanslı bileşenlerin sahip olduğu dalgalanmaların dip ve zirve noktaları söz konusu nispi katkının en düşük ve en yüksek değerini belirtmesi açısından önemlidir. Ancak IMF sonuçlarının analizinde görüleceği üzere oldukça fazla değişim ve dip-zirve noktaları tespit edilmiştir.

Üstelik söz konusu nispi katkının şiddeti ve sıklığına ait kantitatif analiz yerine sadece kalitatif analiz yapılabilmektedir. Dolayısıyla, kantitatif bir analiz için IMF bileşenlerinin analizinin yanında spektral analiz de yapılması bir zorunluluk halini almaktadır. Ayrıca bileşenlerin kendisi yerine bileşenlerdeki değişimin hızı ve şiddetini ifade eden frekans ve enerji değerlerinin analiz edilmesi ekonomik analiz açısından daha yararlı sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Dolayısıyla bu bölümde elde edilen IMF bileşenlerinin teknik analizi yapılmıştır. Bileşendeki değişimlerin yapısını gösteren frekans ve enerji değerlerinin teknik ve ekonomik analizi ise bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

3.2.1.1. Model1 Sonuçları

Model1 kullanılarak endekse ait 10 IMF bileşeni tespit edilmiştir. Şekil 5, Model1 kullanılarak elde edilen IMF bileşenlerini içermektedir. Genel olarak yüksek frekanslı IMF bileşenleri incelendiğinde ilk dört bileşenin genel salınım yapısı bakımından birbirleriyle benzer olduğu görülmektedir. IMF1 bileşeni incelendiğinde Mayıs 1997 - Ağustos 2003 tarihleri arasındaki salınımların 1997 yılı öncesinde meydana gelen salınımlardan daha şiddetli olduğu görülmektedir. Eylül 2003 ile Kasım 2006 yılları arasındaki dönemde salınım şiddeti nispeten azalmıştır; Temmuz 2007 - Eylül 2010 döneminde ise salınım şiddeti genel seviyesinde artış gözlenmiştir. 2008 yılının son çeyreğinde şiddetli salınımlar gözlenmiştir ve söz konusu dönemde özellikle 2008 yılının Eylül sonu ile Kasım ayı başlarında en şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Ekim 1997, Eylül 1998, Mart ve Aralık 2000, Nisan - Eylül 2001 dönemi, 2002 yılının ikinci yarısı, Nisan 2008, 2009 yılının birinci çeyreği ve Mayıs 2010 tarihlerinde de nispeten şiddetli salınımlar meydana gelmiştir.

IMF2 bileşeni genel yapı itibarıyla IMF1 bileşenine benzemektedir. Ocak 1991 - Nisan 1992, Mayıs 1996 - Ocak 2003 ve 2008 yılı ve sonrasında kapsayan dönemlerde salınım şiddeti genel seviyesinin diğer dönemlere oranla yüksek olduğu görülmektedir. Kasım 1997 ile Haziran 2003 tarihleri arasında ani ve şiddetli salınımlar görülmüştür. Temmuz 2003 - Eylül 2007 döneminde ise salınımların şiddeti genel olarak düşük seyretmiş olup dönemin şiddetli salınımları Mart 2004 -

Nisan 2004, Şubat 2007 - Ağustos 2007 dönemlerinde meydana gelmiştir. Ekim 2007 sonrasında ise salınım şiddeti tekrar yükselmiştir. Eylül 2008 - Ocak 2009 tarihleri arasındaki dönemde oldukça şiddetli salınımlar kümelenmiş olup bileşenin içerdiği en şiddetli salınım Kasım 2008 tarihinde gerçekleşmiştir. Bileşenin diğer şiddetli salınımları ise Aralık 2007, Mayıs 2010 - Temmuz 2010 dönemi ve Nisan 2011 tarihlerinde meydana gelmiştir. Ani ve şiddeti yüksek salınımlar detaylı incelendiğinde; Kasım 1997, Ağustos - Eylül 1998 dönemi, Ekim - Aralık 1999 dönemi, 2000 yılının birinci yarısı, Ağustos - Ekim 2001 dönemi, 2002 yılının ikinci yarısı, Şubat - Kasım 2008 dönemi, Mart 2009, Nisan 2009, Ağustos 2009, Ekim 2009, Haziran 2010 tarihlerinde meydana geldiği görülmektedir.

IMF3 bileşeninde ise şiddetli salınım kümeleri dikkati çekmektedir. Şiddetli salınımlar Ağustos 1998 - Ocak 2003 ile Ocak 2008 - Temmuz 2010 tarihleri arasında yoğunlaşmıştır.

Ağustos 1998 - Şubat 1999, Aralık 1999 - Haziran 2000, Ağustos 2001 - Ekim 2001, Haziran 2002 - Kasım 2002, Ocak 2008 - Nisan 2008, Eylül 2008 - Aralık 2008, Şubat 2009 - Mayıs 2009, Ağustos 2009 - Kasım 2009 ve Mayıs 2010 - Temmuz 2010 tarihleri arasında şiddeti oldukça yüksek salınımlar kümelenmiştir. En şiddetli dalgalanma ise 2008 yılının Ekim ayı sonları ile Eylül 2009 tarihinde gerçekleşmiştir. Ani ve şiddeti yüksek salınımlar detaylı incelendiğinde; Eylül 1998, Eylül 1999 - Ekim 1999, 2000 yılının birinci yarısını kapsayan dönemde, Ağustos 2001 - Eylül 2001 dönemi, Temmuz 2002 - Ekim 2002 dönemi; Şubat 2008, Ekim 2008, Kasım 2008 tarihleri, 2009 yılı, Mayıs 2010 - Haziran 2010 tarihlerinde meydana geldiği görülmektedir.

IMF4 bileşeninin ortalama periyodu yaklaşık 14 iş günü olarak hesaplanmıştır. Bileşen, salınım şiddeti açısından incelendiğinde daha yüksek frekanslı bileşenlere göre daha heterojen bir yapı görülmekte olup şiddeti yüksek ve düşük olan salınımlar iç içe geçmiş haldedir. Nisan 2000 ile Haziran 2003 arasında kalan dönem ve Eylül 2008 ile Eylül 2010 arasındaki dönemde şiddetli salınımlar daha sık görülmektedir. Ayrıca 1991 yılının son çeyreği ile 1992 yılının Ocak ayında

meydana gelen şiddetli dalgalanmalar dikkat çekicidir. Bileşenin geneli incelendiğinde yüksek şiddetli salınımlar; 1997, 1998 ve 1999 yıllarının son çeyreği, 2000 yılının Nisan ve Eylül ayları, 2001 ve 2002 yıllarının son çeyreği, 2004 yılının ikinci çeyreği, 2007 yılının Aralık ayı, 2008 yılının Ocak ayı ve son çeyreği, 2009 yılının ilk çeyreği ve 2010 yılının Ocak ve Ağustos aylarında şiddetli salınımlar tespit edilmiştir. Söz konusu salınımlardan Ağustos 2002 ve Kasım 2008 tarihinde meydana gelenle ise en şiddetli salınımlardır.

IMF5 bileşenin ortalama periyodu yaklaşık 33 iş günüdür. Salınım şiddetinin genel seviyesinin yüksek olduğu dönemler, Mart 1997 - Ağustos 2002 arasındaki dönem ile Ekim 2007 sonrasıdır. Nisan 1997 ile Haziran 1998 arasında meydana gelen şiddetli iki dalga dikkat çekici olup söz konusu dalgalarda en yüksek seviyeye ulaştıkları tarihler sırasıyla Temmuz 1997 ve Nisan 1998 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde Haziran 1999 ile Mart 2000 arasında meydana gelen iki dalga da nispeten şiddetli niteliktedir ve zirve noktalarına Temmuz 1999 ve Ocak 2000 tarihlerinde ulaşmışlardır. Mart 2008 ile Mart 2009 tarihleri arasında da oldukça şiddetli dalgalanmalar meydana gelmiş ve dalgalanmanın zirve noktaları sırasıyla Mayıs 2008, Eylül 2008 ile Ocak 2009 tarihlerinde oluşmuştur. Dip noktalar ise Temmuz ve Kasım 2008 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Ocak - Haziran 2010 döneminde meydana gelen şiddetli dalganın zirve noktası da Nisan 2010 tarihinde gerçekleşmiştir.

Ortalama periyodu 81 iş günü olan IMF6 bileşeni incelendiğinde salınım şiddetinin hızlı biçimde arttığı üç dönem tespit edilmiştir. Söz konusu dönemler sırasıyla Mart 1998 - Mart 1999, Nisan 2001 - Mart 2003 ve Şubat 2008 - Temmuz 2009 tarihleri arasında kapsamaktadır. Salınımdaki ani değişimler detaylı olarak incelendiğinde Mart 1998 - Mart 1999 dip noktaları arasında meydana gelen ve şiddeti hızla artan iki dalga dikkati çekmektedir. Söz konusu dalgalarda dip nokta Ekim 1998 tarihinde meydana gelmiş olup dalgalarda zirve noktaları sırasıyla Temmuz 1998 ve Aralık 1998 tarihlerinde meydana gelmiştir. Nisan 2001 ile Mart 2003 tarihleri arasında meydana gelen oldukça şiddetli üç dalga dikkate alındığında ise dalgalarda dip noktaların Ekim 2010 ile Eylül 2009

tarikhlerinde meydana geldiği görülmektedir. Söz konusu dalgaların zirve noktaları ise Temmuz 2001, Nisan 2002 ve Aralık 2002 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Şiddeti yüksek olan diğer iki dalga ise Şubat 2008 ile Temmuz 2009 dip noktaları arasında meydana gelmiştir. Dalgaların en yüksek düzeye ulaştıkları noktalar sırasıyla Ağustos 2008 ile Mayıs 2009 tarihlerinde meydana gelirken iki dalga arasındaki dip nokta ise Mart 2009 tarihinde oluşmuştur.

IMF7 bileşeni 196 iş günü olan ortama periyoda sahiptir ve Ekim 1999 - Nisan 2001 ile Ekim 2004 - Eylül 2007 tarihleri hariç diğer dönemlerde düzenli salınımlar barındırmaktadır. Ayrıca Eylül 2007 sonrasında salınım şiddeti hızlı biçimde artmış ve iki şiddetli dalga meydana gelmiştir. Söz konusu dalgaların zirve noktaları sırasıyla Mayıs 2008 ve Kasım 2009 tarihinde gerçekleşirken dip noktaları ise Şubat 2009 ile Kasım 2010 tarihlerinde meydana gelmiştir. Mart 2001 ile Eylül 2004 tarihleri arasında meydana gelen iki dalga incelendiğinde ise zirve noktalarının Şubat 2002 ile Aralık 2003 tarihlerinde meydana geldiği ve dalgalar arasındaki dip noktasının da Şubat 2003 tarihinde gerçekleştiği görülmektedir. Ekim 1999 tarihi öncesinde görülen düzenli salınım incelendiğinde ise dalgaların zirve noktaları sırasıyla Ekim 1991, Kasım 1993, Kasım 1995, Şubat 1998, Nisan 1999 tarihlerinde gerçekleşirken dip noktalar ise Eylül 1992, Aralık 1994, Ocak 1997 ve Ekim 1998 tarihlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

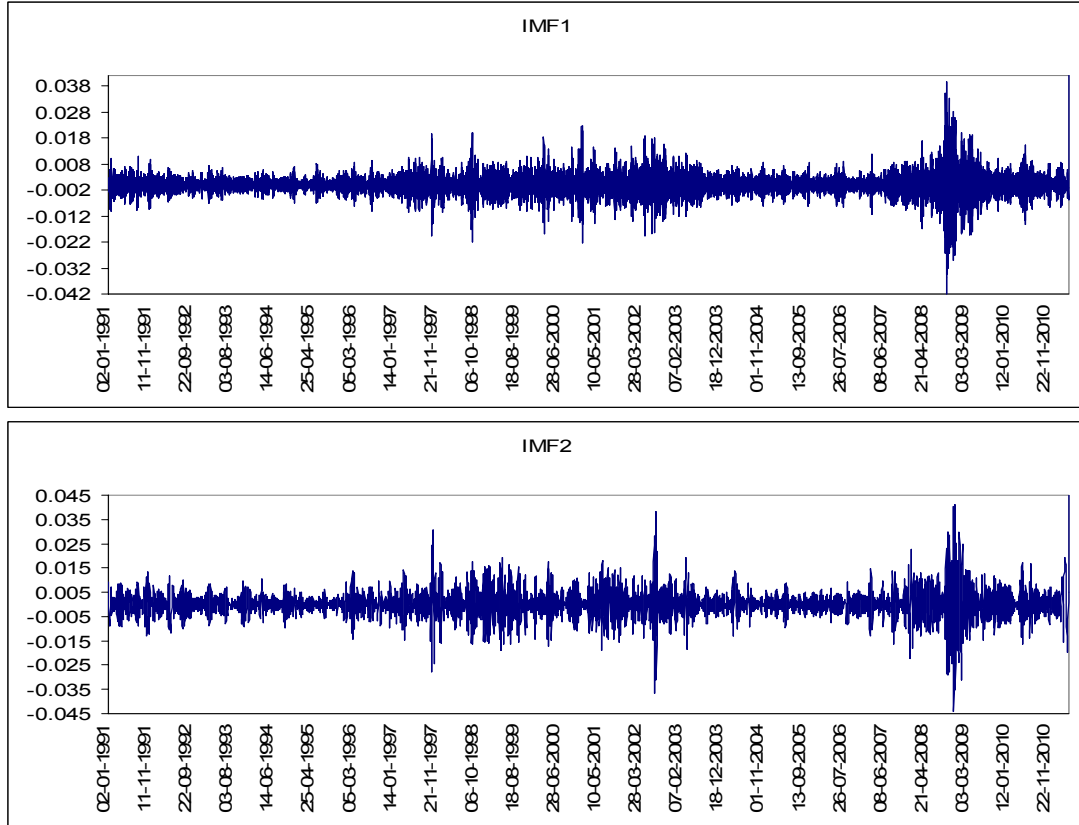
IMF8 bileşeni oldukça düzenli salınım yapısına sahiptir ve salınımın ortalama periyodu yaklaşık 341 iş günü olarak hesaplanmıştır. Salınım genel olarak incelendiğinde, Nisan 2005 tarihinden önceki dönemde salınım şiddetinin azalma eğilimi gösterirken söz konusu tarihten sonraki dönemde salınım şiddeti hafif bir artış eğilimine sahip olduğu görülmektedir. Nisan 2005 tarihinden önce beş dalga meydana gelmiş olup salınımların dip noktaları sırasıyla Şubat 1995, Temmuz 1998, Aralık 2000, Nisan 2003 tarihlerinde görülürken zirve noktaları ise Aralık 1992, Ocak 1997, Kasım 1999, Mart 2002 ve Temmuz 2004 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Nisan 2005 sonrası dönem dikkate alındığında ise salınım şiddeti gittikçe artan  dalga tespit edilmiştir. Söz konusu dalgaların zirve noktaları Şubat 2006, Aralık

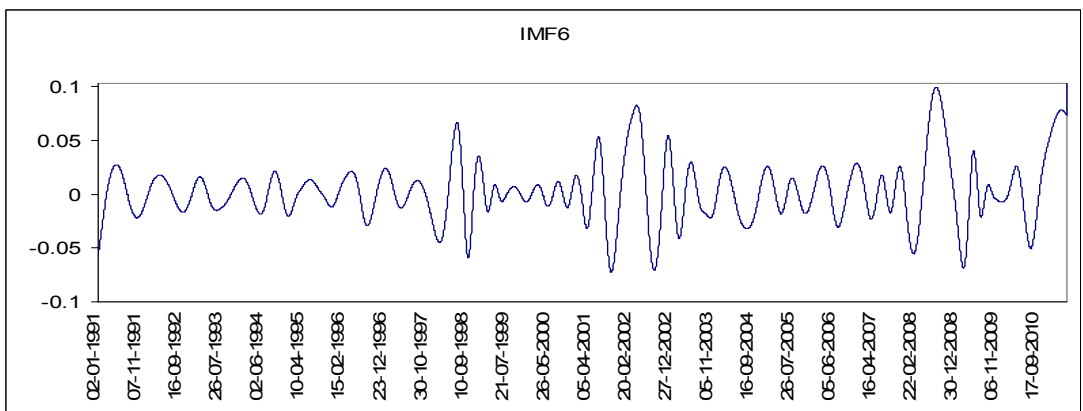
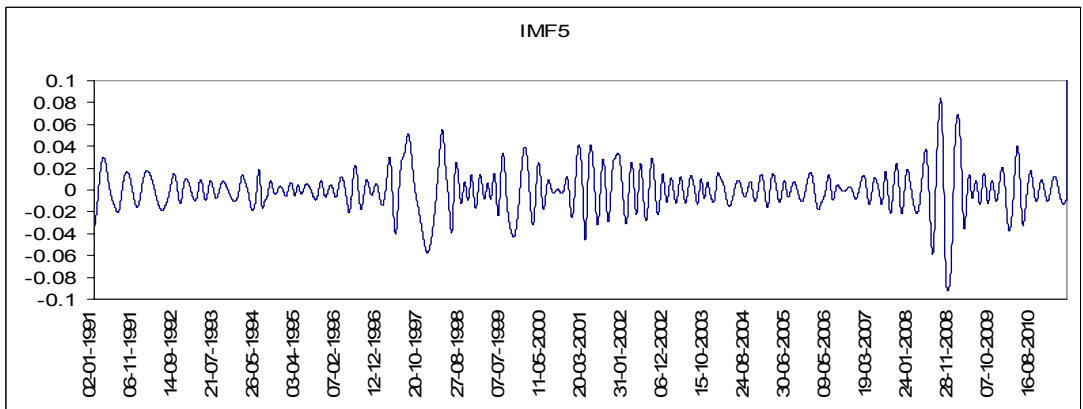
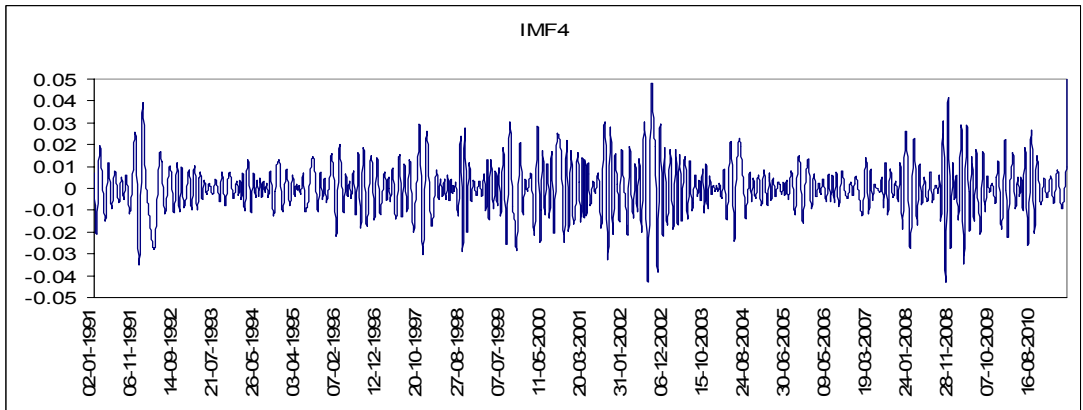
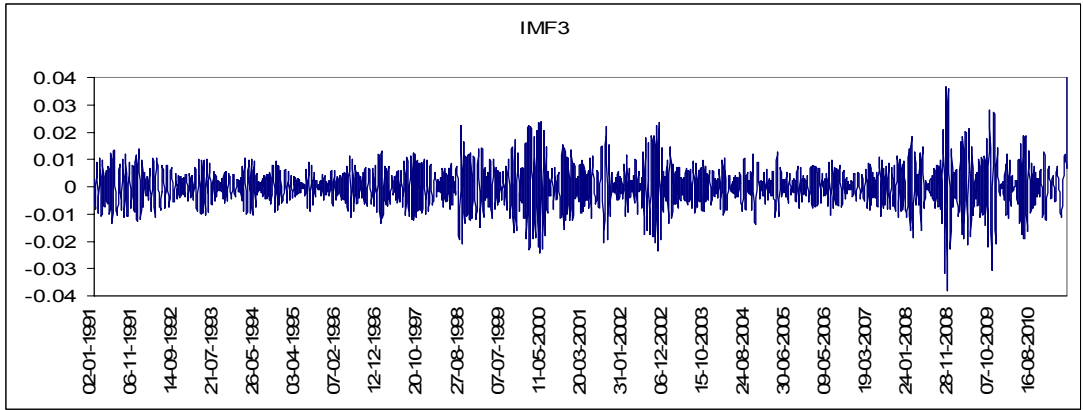
2007, Şubat 2010 tarihlerinde meydana gelmiş ve salınımların dip noktaları Ocak 2007 ve Ocak 2009 tarihlerinde meydana gelmiştir.

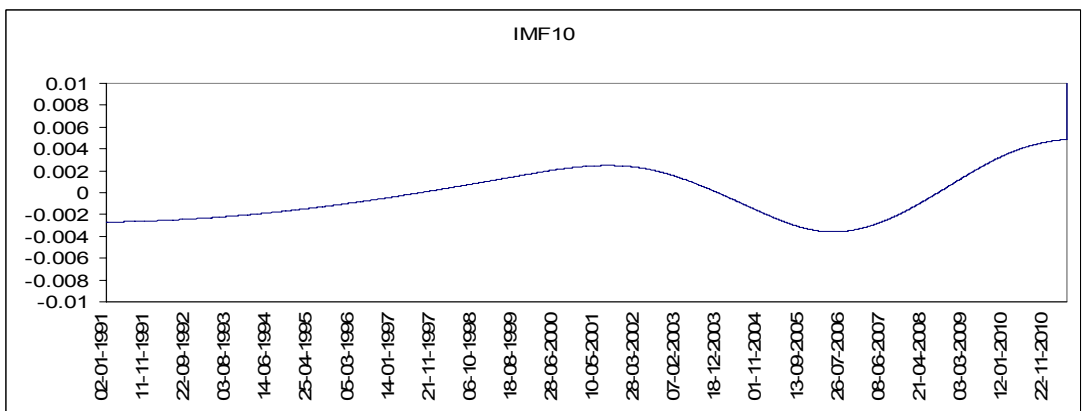
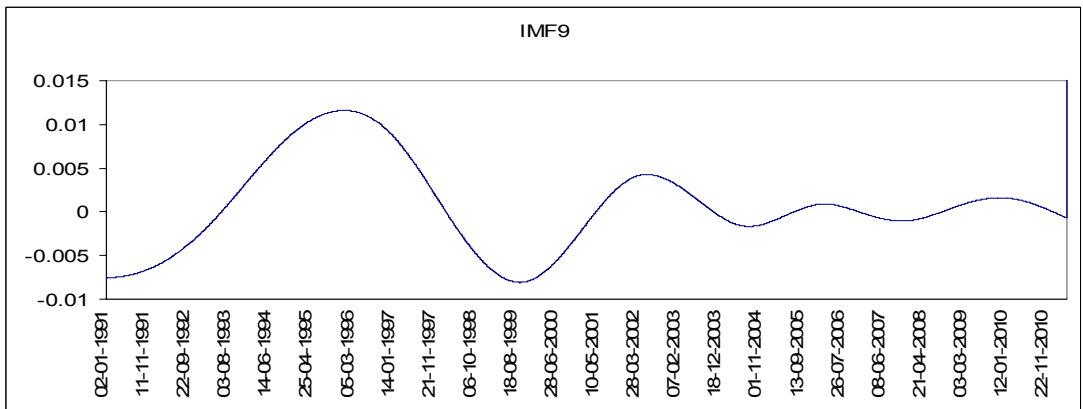
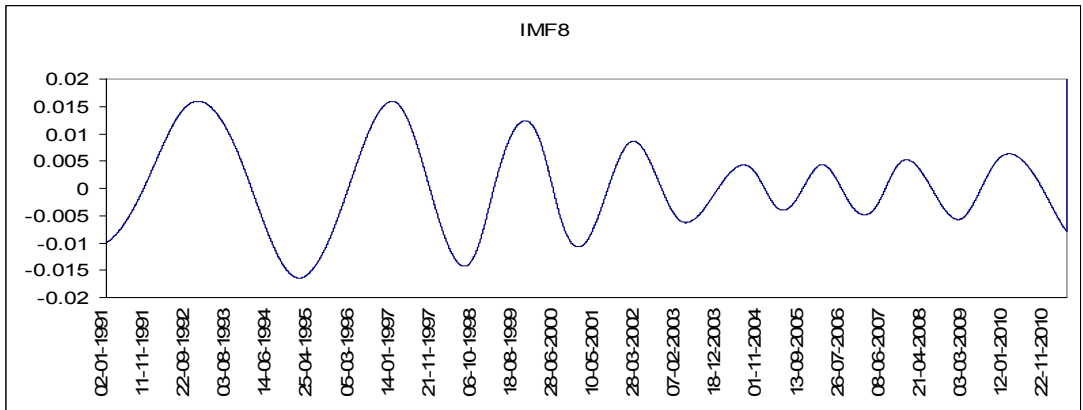
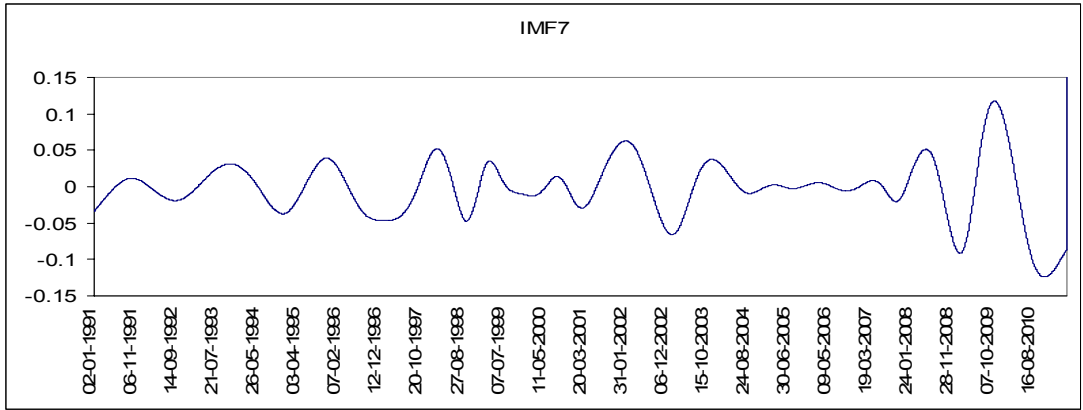
IMF9 bileşeninin ortalama periyodu 640 iş günü olarak hesaplanmıştır ve salınım şiddetinin genel yapısı IMF8 bileşenine benzemektedir. Salınım şiddetindeki genel azalış eğilimi dikkati çekmektedir. Dört dalgadan oluşan salınım incelendiğinde, söz konusu dalgalarda zirve noktaları sırasıyla Ocak 1996, Haziran 2002, Mart 2006, Aralık 2009 tarihlerinde meydana gelirken dalgalarda dip noktaları ise Eylül 1999, Ağustos 2004, Ekim 2007 tarihlerinde gerçekleşmiştir.

IMF10 bileşeninin ortalama periyodu 2560 iş günü olarak hesaplanmıştır. Salınım tamamlanmış tek bir dalgayı içermektedir. Söz konusu dalga 1991 Ocak ayından itibaren Ağustos 2001 zirve noktasına kadar artmıştır. Sonrasındaki azalış ise Haziran 2006 tarihinde meydana gelen dip noktasına kadar devam etmiştir. Dip noktaya ulaştıktan sonra bileşen tekrar artış eğilimine girmiştir.

Şekil 5: S&P 500 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model1







3.2.1.2. Model2 Sonuçları

Model2 kullanılarak endekse ait 10 IMF bileşeni tespit edilmiştir. Şekil 6, Model2 kullanılarak elde edilen IMF bileşenlerini içermektedir. İlk dört bileşen, salınımların genel eğilimleri bakımından birbirleriyle örtüşmektedirler. IMF1 bileşeninin genel yapısı incelendiğinde, normalleştirme süreciyle birlikte 1991 - 1996 dönemindeki salınımların daha belirgin hale geldiği görülmektedir. 1997 yılı öncesinde şiddeti düşük olan salınımlar yerini Ocak 1997 - Ağustos 2003 döneminde daha yüksek şiddetli salınımlara bırakmışlardır. Sonrasında salınım şiddetinde Eylül 2002 ile Kasım 2006 tarihleri arasında düşüş meydana gelmiştir. Kasım 2006 - Haziran 2009 döneminde ise alının şiddeti genel seviyesinde artış meydana gelmiştir. Salınımın diğer dönemlere göre oldukça şiddetli seyrettiği dönem ise 2008 yılının son çeyreğidir. Özellikle 2008 yılının Eylül sonu ile Kasım ayı başlarında en şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Nispeten ani ve şiddetli nitelikte olan diğer salınımlar ise Ekim 1997, Eylül 1998, Mart 2000 - Nisan 2000 - Kasım 2000 tarihleri; Ocak 2001 - Nisan 2001 - Eylül 2001 tarihleri; Mayıs 2002 - Temmuz 2002 dönemi, Mart 2007 - Ağustos 2007 - Kasım 2007 tarihleri; 2008 yılının tümü; özellikle Ekim 2008 - Kasım 2008 dönemi ile 2009 yılının birinci çeyreğinde meydana gelmiştir.

IMF2 bileşeninin içerdiği salınımların şiddetinde meydana gelen değişimler incelendiğinde salınım şiddetinde uzun süreli dönemsel seviye artışları görülmemekle birlikte nispeten şiddetli ani değişimler tüm bileşen boyunca görülmektedir. Söz konusu ani ve şiddetli salınım kümelenmeleri Ekim 1997 - Mayıs 2003 ve Şubat 2007 - Ocak 2009 dönemlerinde meydana gelmiştir. Bileşendeki en şiddetli salınım Kasım 2008 tarihinde meydana gelmiş olup diğer şiddetli salınımların oluştuğu tarihler ise Kasım 1991, Mart 1994, Mart 1996, Kasım 1997, Eylül 1998, Nisan 2000, Temmuz 2002, Mart 2003, Nisan 2004, Nisan 2008, Ekim 2008, Ocak 2009, Mayıs 2010 ve Mart 2011 tarihleridir. Ayrıca 1999, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında şiddetli ve ani nitelikli salınımların kümelenildiği görülmektedir.

IMF3 bileşeni genel olarak salınım şiddetinde uzun dönemli ve kalıcı değişimlerin olmadığı ve şiddetli sayılabilecek salınımların Ekim 1996 ile Mart 2003 tarihleri arasında meydana geldiği görülmektedir. En şiddetli salınımlar ise Ağustos 2008 ile Nisan 2009 tarihleri arasında görülmektedir. Bileşenin geneli dikkate alındığında ani ve en şiddetli dalgalanmalar Şubat 1993, Ağustos 1998 - Nisan 1999, Eylül 1999 - Haziran 2000, Ekim 2000 - Aralık 2000, Ağustos 2001 - Ekim 2001 dönemleri, 2002 yılının ikinci yarısı, Haziran 2007 - Kasım 2007, Nisan 2008 - Ekim 2008, Mart - Ekim 2009 dönemleri ile Mayıs 2010 - Haziran 2010 - Temmuz 2010 tarihlerinde gerçekleşmiştir.

IMF4 bileşeninin ortalama periyodu yaklaşık 14 iş günü olarak hesaplanmıştır. Bileşenin genel salınım yapısı Model1 kullanılarak elde edilen bileşen ile benzer yapıya sahip olmakla birlikte salınım şiddeti açısından incelendiğinde; IMF4 bileşeninde 1991 yılı sonu ve 1992 yılının ilk yarısında daha düşük şiddetli salınımlarla birlikte 2004 ve 2005 yıllarında nispeten daha şiddetli salınımlar tespit edilmiştir. Şiddetli salınımların daha sık görüldüğü dönemler Nisan 2000 ile Haziran 2003 arasında kalan dönem ve Eylül 2008 ile Eylül 2010 arasındaki dönemlerdir. Ayrıca 1991 yılının son çeyreğinde de şiddetli dalgalanmalar dikkat çekicidir. Bileşenin geneli incelendiğinde yüksek şiddetli salınımların; 1997 yılının son çeyreği, Eylül 1998, 1999 yılının son çeyreği, 2000 yılının Nisan, Ağustos, Kasım ayları, Kasım 2001, 2002 yılının üçüncü çeyreği, 2004 yıllarının ikinci çeyreği, 2008 yılının Ocak ayı ve son çeyreği, 2009 yılının birinci yarısı ve 2010 yılının Ocak ve Ağustos aylarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Söz konusu salınımlardan Ağustos 2002 ve Kasım 2008 tarihinde meydana gelenleri ise en şiddetli salınımlardır.

IMF5 bileşeninin ortalaması yaklaşık 30 iş günü olup salınım genel yapısı Model1 kullanılarak elde edilen bileşenle oldukça benzer niteliklidir. Ancak 1991 yılındaki dalgalanmalar daha şiddetli gerçekleşmiştir. Mart 1997 - Ağustos 2002 arasındaki dönem ile Ekim 2007 sonrasında salınım genel seviyesi nispeten yüksek seyretmiştir. Mart 1997 ile Haziran 1998 arasında meydana gelen şiddetli iki dalga dikkat çekici olup söz konusu dalgaların en yüksek seviyeye ulaştıkları tarihler

sırasıyla Temmuz 1997 ve Nisan 1998 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde Haziran 1999 ile Mart 2000 arasında meydana gelen iki dalga da nispeten şiddetli gerçekleşmiş ve zirve noktalarına Temmuz 1999 ve Ocak 2000 tarihlerinde ulaşmışlardır. Aralık 2000 - Eylül 2001 döneminde şiddetli üç dalga meydana gelmiştir. Aralık 2000 - Mart 2001, Mart 2001 - Temmuz 2001, Temmuz 2001 - Eylül 2001 dönemlerinde meydana gelen üç dalganın zirve noktaları sırasıyla Şubat, Mayıs ve Ağustos 2001 tarihinde gerçekleşmiştir. Mart 2007 ile Mart 2009 tarihleri arasında da oldukça şiddetli dalgalanmalar meydana gelmiştir. Söz konusu dönemde meydana gelen üç dalganın zirve noktaları sırasıyla Mayıs - Eylül 2008 ile Ocak 2009 tarihlerinde oluşmuştur. Dip noktalar ise sırasıyla Temmuz 2008 ve Kasım 2008 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Dikkat çeken diğer bir dalga ise zirve noktasına Nisan 2010 tarihinde ulaşan ve Şubat 2010 - Haziran 2010 tarihinde meydana gelen dalgadır.

IMF6 bileşeninin ortalama periyodu yaklaşık 70 iş günü olarak hesaplanmıştır. Salınımların yapısı incelendiğinde, 2001 - 2003 ile 2007 - 2009 yılları hariç diğer dönemler için Model1 kullanılarak elde edilen bileşenle benzer olduğu görülmektedir. 2001 - 2003 yılları arasındaki dönem incelendiğinde, Nisan 2001 - Eylül 2001 ile Ağustos 2002 - Mart 2003 dip noktalarının oluşturduğu dönemlerde gerçekleşen ve zirve noktaları sırasıyla Temmuz 2001 ile Kasım 2002 tarihlerinde meydana gelen şiddetli iki dalga dikkati çekmektedir. Ayrıca 2007 - 2009 yılları arasındaki dönem incelendiğinde Ağustos 2007 - Temmuz 2009 döneminde şiddetli üç dalga meydana gelmiştir. Ağustos 2007 - Şubat 2008, Şubat 2008 - Mart 2009, Mart 2009 - Temmuz 2009 dönemlerinde meydana gelen üç dalganın zirve noktaları sırasıyla Kasım 2007, Temmuz 2009 ve Mayıs 2009 tarihinde gerçekleşmiştir. Diğer şiddetli salınım ise Mart 1998 - Mart 1999 dip noktaları arasında meydana gelmiştir. Söz konusu dalgaların arasındaki dip nokta Ekim 1998 tarihinde meydana gelmiş olup dalgaların zirve noktaları sırasıyla Temmuz 1998 ve Aralık 1998 tarihlerinde meydana gelmiştir.

Ortalama periyodu 170 iş günü olan IMF7 bileşenindeki salınım kümelenmesi dikkati çekmektedir. Genel olarak yüksek şiddetli dalgaları düşük

şiddetli dalgalar takip etmektedir. Şiddetli salınımlar incelendiğinde sekiz dalga dikkati çekmektedir. Ağustos 1992 - Ağustos 1996 döneminde şiddetli iki dalga meydana gelmiş ve söz konusu dalgaların zirve noktaları Eylül 1993 ile Aralık 1995 tarihlerinde gerçekleşmiş olup dalgalar arası dip nokta ise Ocak 1995 tarihinde gerçekleşmiştir. Ağustos 1997 - Ocak 2000 arasında da zirve noktaları Mart 1998 ve Mart 1999 tarihlerinde oluşan iki dalga meydana gelmiştir ve dalgalar arası dip nokta ise Eylül 1998 tarihinde gerçekleşmiştir. Ekim 2001 - Eylül 2004 döneminde ise iki dalga meydana gelmiş ve dalgaların zirve noktaları Mart 2002 ve Şubat 2004 tarihlerinde gerçekleşirken dip nokta Kasım 2002 tarihinde gerçekleşmiştir. Son olarak, Ağustos 2006 ile Kasım 2010 tarihleri arasında şiddeti en yüksek düzeyde olan iki dalga meydana gelmiş ve zirve noktaları Şubat 2008 ve Ocak 2010 tarihlerinde görülmüş olup dip nokta ise Mart 2009 tarihinde meydana gelmiştir.

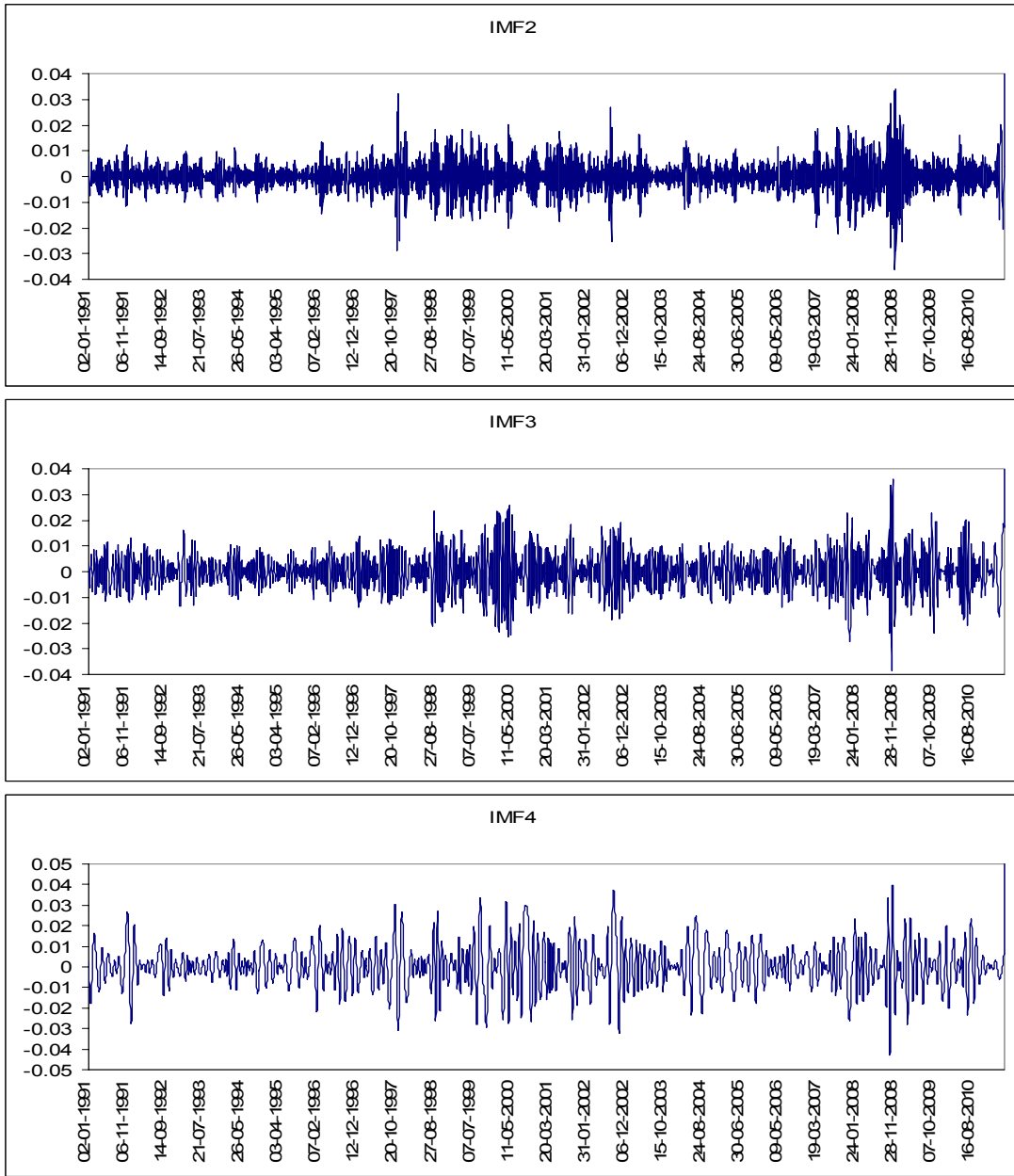
IMF8 bileşenin ortalama periyodu 512 iş günü olarak hesaplanmıştır. Bileşen incelendiğinde Kasım 1998 sonrası dönemde meydana gelen salınım şiddetindeki artışın oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Kasım 1998 öncesindeki salınım üç dalga içermektedir fakat söz konusu dalgaların şiddeti oldukça düşüktür. Dalgaların zirve noktaları ise Nisan 1993, Kasım 1995, Ekim 1997 tarihlerinde meydana gelmiş; dip noktalar ise Ekim 1994 ve Kasım 1996 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Kasım 1998 sonrasındaki dönemde ise şiddetli iki dalga meydana gelmiştir. Söz konusu dalgaların zirve noktaları Mart 2000 ve Ocak 2007 tarihlerinde gerçekleşmiş olup dip noktalar ise Kasım 2002 ve Temmuz 2009 tarihlerinde meydana gelmiştir.

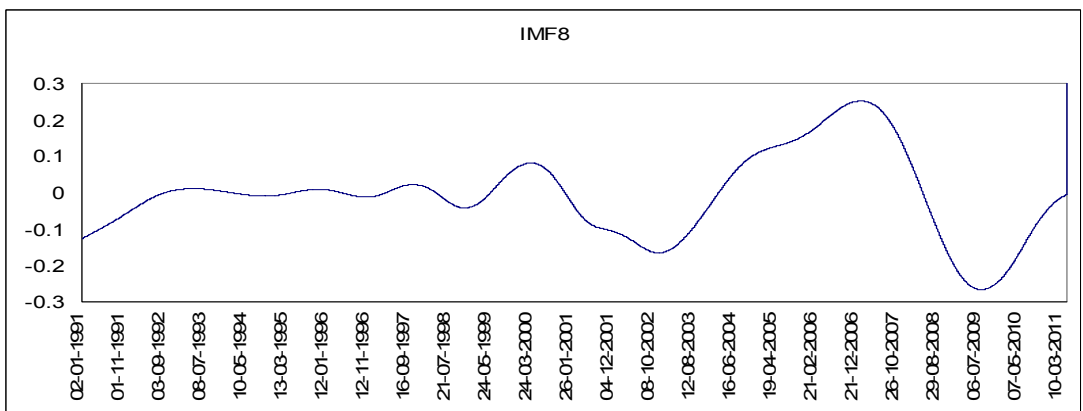
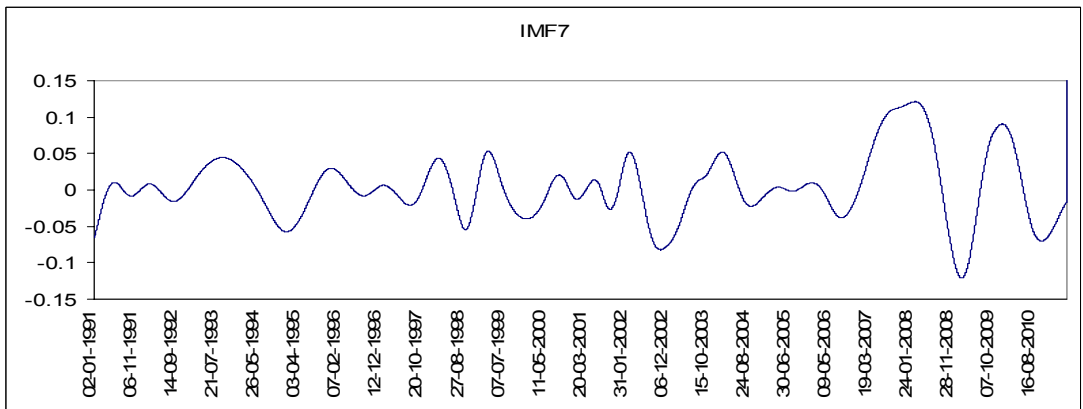
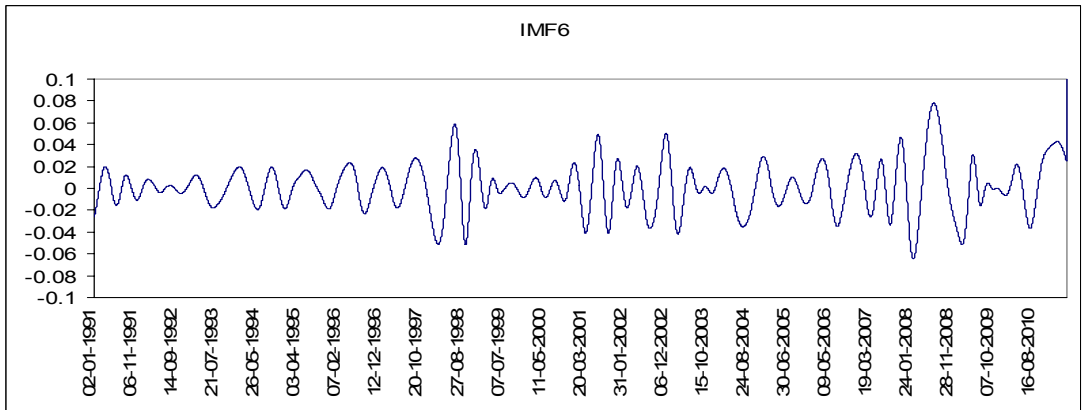
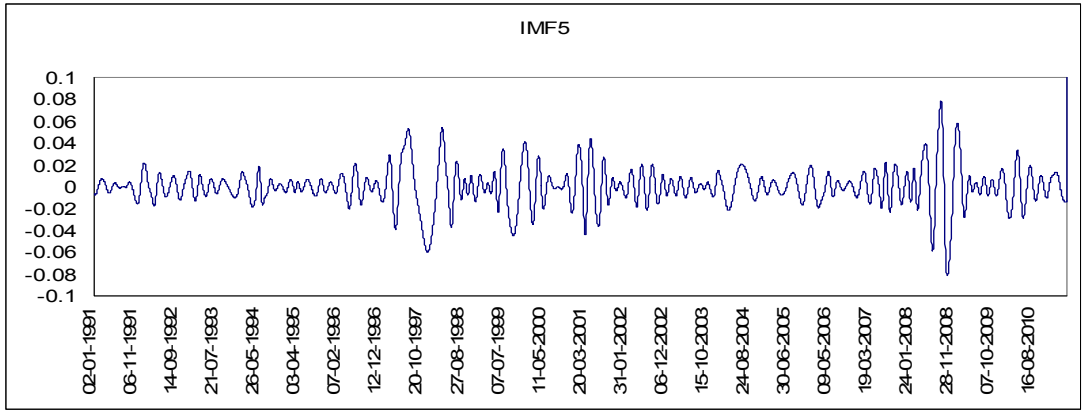
IMF9 bileşenin ortalaması 1024 iş günü olarak hesaplanmıştır ve düzenli salınım yapısına sahiptir. Genel olarak salınım şiddetinde düşük düzeye sahip artış eğilimi gözlenmektedir ve salınım üç dalgadan oluşmaktadır ancak son dalga tamamlanmamıştır. Söz konusu dalgaların zirve noktaları sırasıyla Eylül 1994, Aralık 1999, Mart 2009 tarihlerinde gerçekleşirken dip noktalar ise Ekim 1997 ve Ağustos 2003 tarihlerinde meydana gelmiştir.

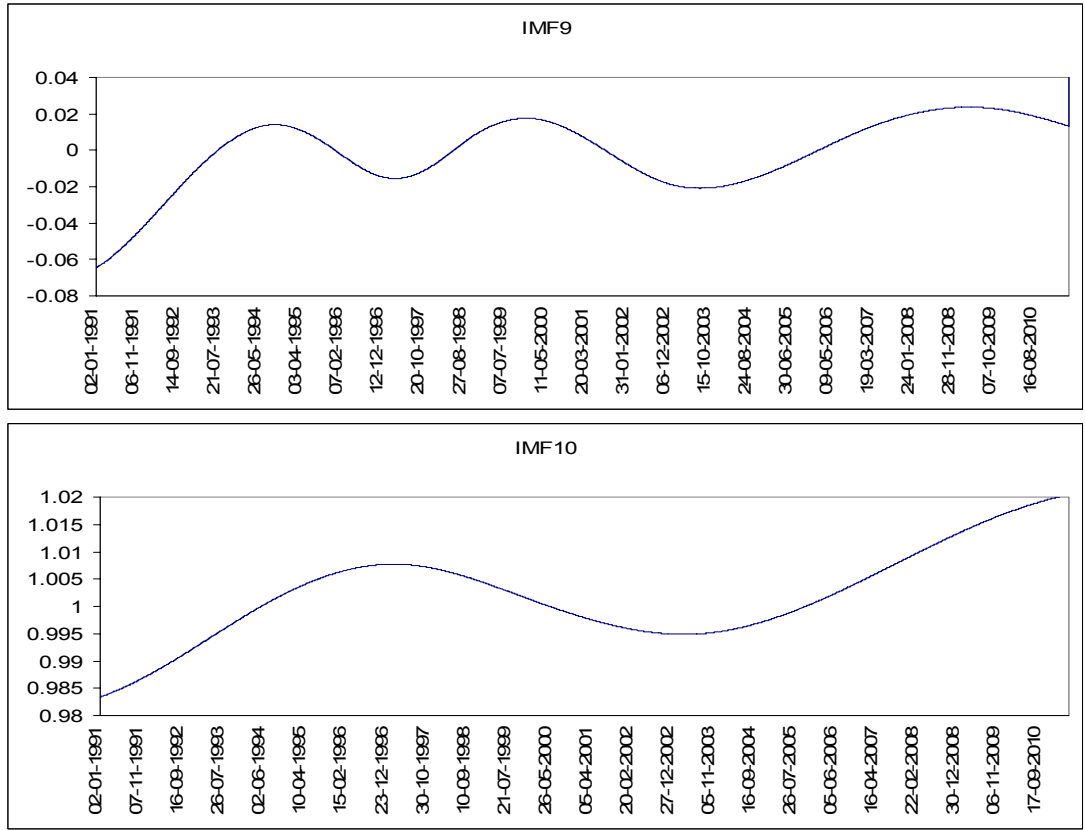
Ortalaması 2560 iş günü olan IMF10 bileşenin salınım yapısı Model1 kullanılarak elde edilen bileşene benzer özellikler göstermektedir. Salınım

tamamlanmış bir dalga içermektedir. Söz konusu dalga incelendiğinde dalganın Mart 1997 tarihine kadar artarak zirve yaptığını sonrasında meydana gelen artışın Nisan 2003 tarihine meydana gelen dip noktasına kadar devam ettiği görülmektedir. Nisan 2003 dip noktasından sonra ise ikinci dalga oluşmaya başlamıştır. Bileşenler incelendiğinde Model2 kullanılarak elde edilen trend bileşeni bulunmamaktadır, elde edilen son bileşen sifıra eşittir.

Şekil 6: S&P 500 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model2







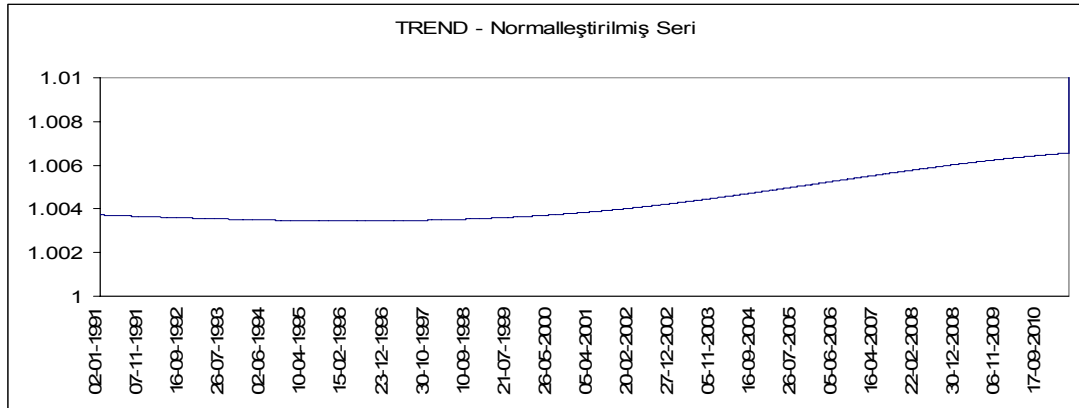
3.2.2. Trend Analiz Sonuçları

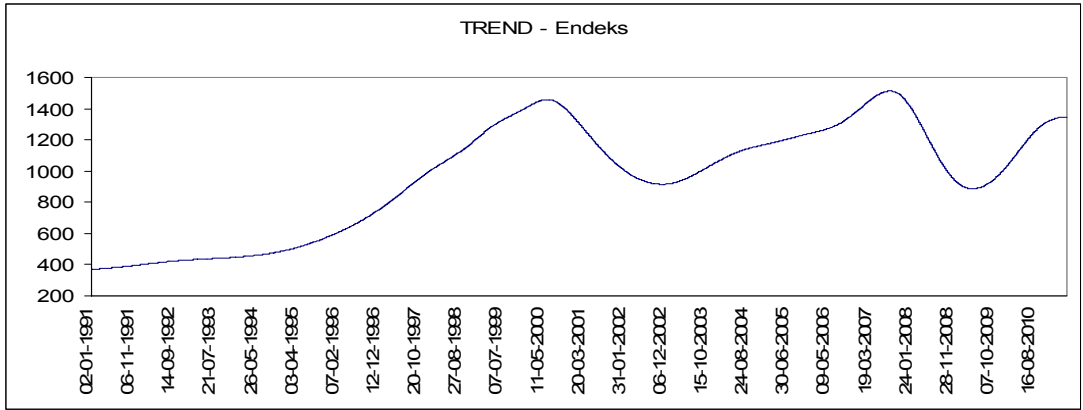
Model1 ve Model2 normalleştirme aşamalarını içermektedir. Kullanılan normalleştirme referans eğrisi fiyat serisinin trendini ifade etmektedir. Model1 kullanılarak elde edilen trend bileşeni Şekil 7'de gösterilmiştir. Model1 kullanılarak elde edilen bileşenler incelendiğinde normalleştirilmiş seriye ait trendinin eğiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, normalleştirilmiş serinin trendi serinin genel seviyesindeki değişim olarak ifade edilebilir ve üzere çok düşük küçük artış göstermektedir ve ihmal edilebilir.

Fiyat serisine ilişkin Model1 kullanılarak elde edilen trend incelendiğinde, trendin doğrusal olmayan nitelikte olduğu görülmektedir. Doğrusal olmayan trend ayrıntılı incelendiğinde; 1995 yılından itibaren hızlı biçimde artmış ve söz konusu artış Haziran 2000 tarihinde görülen zirve noktasına kadar devam etmiştir, sonrasında meydana gelen azalış ise Kasım 2002 tarihinde gerçekleşen dip noktasına kadar devam etmiştir. 2000 - 2002 döneminde Japonya, Rusya, Endonezya, Brezilya

gibi ülkelerde görülen ekonomik istikrarsızlıklar; ABD finans piyasalarında meydana gelen krizler; ABD ve Avrupa Birliği ekonomilerinde görülen resesyon ve terör saldırıları sonunda meydana gelen küresel askeri ve siyasi istikrarsızlıklar söz konusu düşüşte etkili olma ihtimali yüksektir. Dip noktasından sonra başlayan ikinci artış eğilimi Ağustos 2007 tarihinde görülen ikinci zirve noktasına kadar devam etmiştir. Daha sonra meydana gelen ikinci azalış eğilimi ise Mayıs 2009 tarihinde görülen dip noktasına kadar devam etmiştir. 2007 ve sonrasında ABD ekonomisindeki resesyonun trend bileşeninde düşüşe sebep olma ihtimali yüksektir. Ayrıca 2008 yılından itibaren bazı Avrupa Birliği üye ülkelerinde görülmeye başlayan ekonomik istikrarsızlık da endeksi etkilemiş olabilir. Daha sonra gözlenen artış eğilimi incelendiğinde ise özellikle Temmuz 2010 tarihinden sonra ivmenin azaldığı görülmektedir. Özellikle 2011 yılı başından itibaren trend artış eğilimi oldukça azalmıştır. 2009 döneminden itibaren Avrupa borç krizinin etkilerinin endeks trendine gecikmeli olarak yansıma ihtimali yüksektir. Özellikle 2010 ikinci yarısından itibaren krizin kronikleşmesi endeksin ivmesi üzerinde başlı oluşturan faktörlerin en önemlilerinden olabilir.

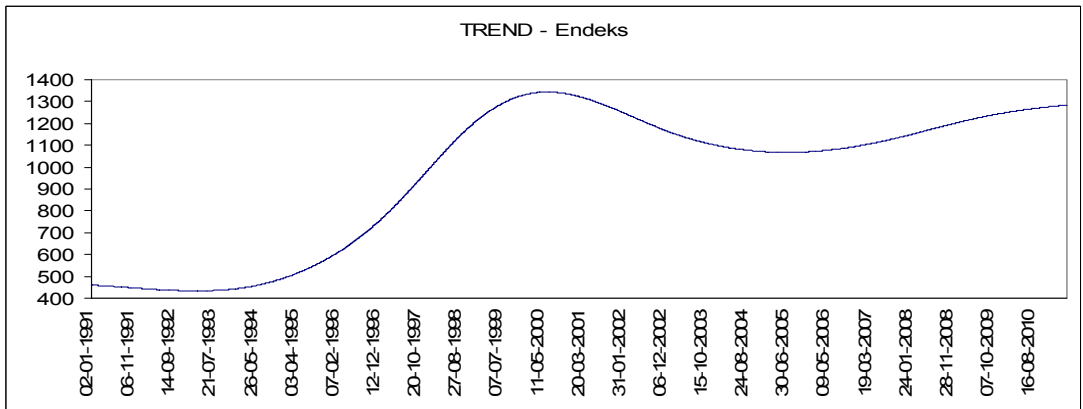
Şekil 7: S&P 500 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model1





Model2 kullanılarak elde edilen trend bileşeni Şekil 8'de gösterilmiştir. Fiyat serisine ilişkin Model2 kullanılarak elde edilen trendin doğrusal olmadığı görülmektedir. Özellikle Temmuz 1993 tarihinden itibaren trend hızlı biçimde artarak Haziran 2000 tarihinde zirveye noktasına ulaşmıştır. Sonrasındaki azalış Haziran 2006 tarihinde meydana gelen dip noktasına kadar devam etmiştir. 2002 - 2006 dönemi ekonomik ve politik açıdan çalkantılı bir dönemdir. Terör saldırıları sonucunda meydana gelen askeri ve politik istikrarsızlıklar ABD ekonomisini etkilemiştir. Ayrıca söz konusu dönemde ABD ve Avrupa Birliği ekonomilerinde görülen resesyona ve özellikle ABD finansal piyasalarında görülen istikrarsızlıklar söz konusu dönemde görülen düşüşe sebep olan faktörlerin başında gelmektedir. Söz konusu dip noktasından sonra görülen ikinci artış eğiliminin ivmesinde ise 2009 yılı başından itibaren azalma tespit edilmiştir.

Şekil 8: S&P 500 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model2



3.2.3. Genel Spektral Analiz Sonuçları

Bu bölümde Spektrum teknik sonuçlarına ilişkin genel değerlendirmeler yer almaktadır. Spektroma ilişkin detaylı teknik sonuçlar ise bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Spektrumlar genel olarak incelendiğinde nispeten sabit ve düşük frekansa sahip dalgalanmaların yanında frekans değeri oldukça dalgalanan yüksek frekanslı bileşenler gözlenmiştir. Söz konusu frekans dalgalanmaları bileşenin doğrusal olmaması nedeniyle meydana gelmiştir. Zamana bağlı olarak değişen frekans ve enerji dalgalanmalarının detaylı analiz edilmesi, endeksi oluşturan bileşenlerin sahip olduğu özelliklerin anlaşılması açısından önemlidir. Dolayısıyla bir sonraki bölümde bileşenlere ilişkin spektrumlar detaylı olarak incelenmiştir.

S&P 500 Endeksine ilişkin tüm bileşenlerin kullanılmasıyla elde edilen genel Spektrumlar Şekil 9' da yer almaktadır.

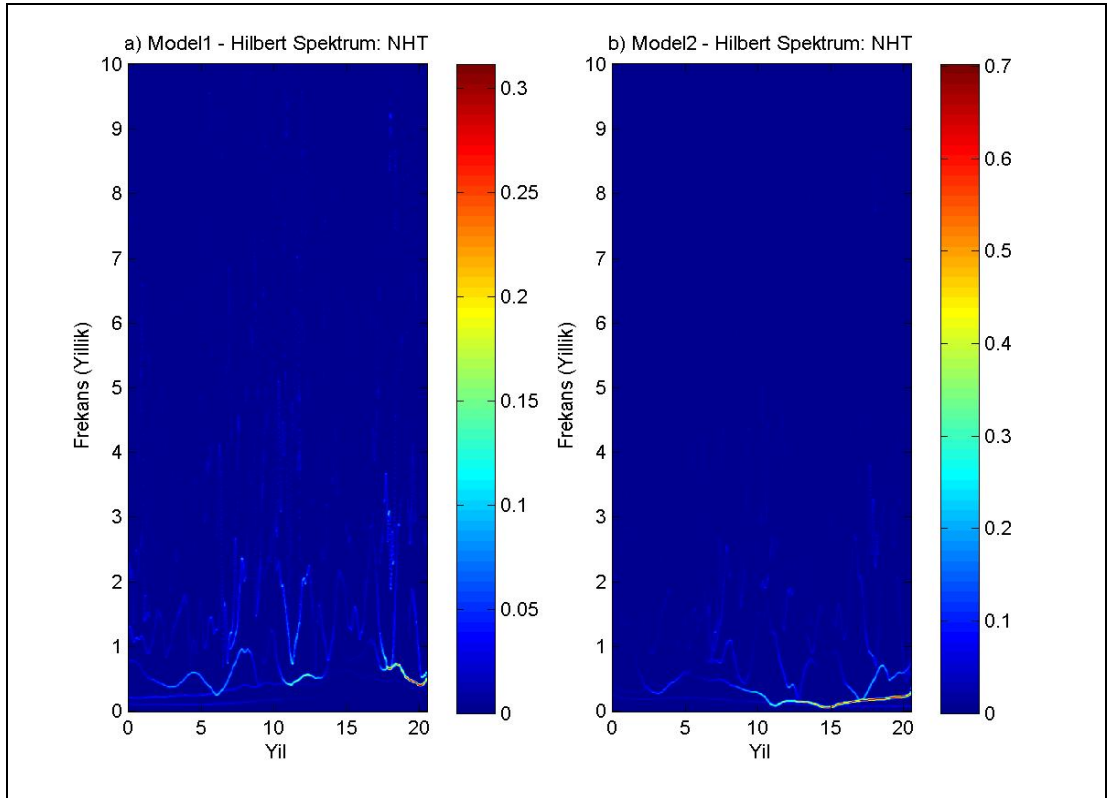
Model1 kullanılarak elde edilen bileşenlere ilişkin spektrum incelendiğinde düşük frekansa sahip enerji seviyesi yüksek salınım hareketinin varlığına ilişkin bulgu elde edilmiştir. Ayrıca normalleştirme işleminin sonucu olarak 2000 yılından önceki dönemde meydana gelen enerji ve frekans değişimleri daha net olarak gözlenebilmektedir. Genel olarak 2008 yılından itibaren enerji seviyesi yüksek ve frekans seviyesi ortalama olarak yaklaşık 0,52 salınım/yıl olan salınım hareketinin meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla, 2008 yılından itibaren görülen 481 iş günü periyoda sahip dalgalanmaya ilişkin bulgu elde edilmiştir. Normalleştirme 1990'lı yıllarda piyasada görülen ekonomik faktörler ile finansal şokların etkisiyle meydana gelen değişimlerin trend bileşeni tarafından baskılanmasını ortadan kaldırarak söz konusu dönemdeki salınımları daha net hale getirmiştir. 2008 yılında kendini hissettiren Küresel finansal kriz ve özellikle sonrasında AB ekonomisini tehdit eden borç krizi enerji seviyesini etkileyen faktörler arasında sayılabilir. Enerji yapısında dikkat çeken diğer bir özellik ise yüksek frekansa sahip enerji dalgalanmalarıdır. Finansal piyasalarda genel ekonomik koşullara ek olarak kısa dönemli fiyat hareketlerinden kaynaklandığı düşünülen bu tür enerji ve frekans değişimlerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Frekans genel olarak birim

zamanda fiyat endeksinde meydana gelen değişimi ifade eder. Bu bağlamda frekans endeksin sahip olduğu değişim "hızı" olarak yorumlanabilir. Enerji ise endekste meydana gelen değişimin "şiddeti" olarak tanımlanabilir. Frekans ve enerjinin analizi, endeksin gösterdiği değişimlerin daha net tespit edilerek detaylı analizini mümkün kılmaktadır. Özellikle bileşenin sahip olduğu frekans aralığı ile en sık görülen frekans değerleri, bileşenin temel karakteristik özelliklerini gösterdiği için tanımlayıcı istatistik olarak kullanılabilir. Frekans verilerinin tümü genel olarak incelendiğinde yüksek enerjiye sahip salınımlara ait frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,38 - 0,78 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 321 - 658 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,40 salınım/yıl, 0,46 salınım/yıl ve 0,66 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 625 işgünü, 543 işgünü ve 379 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Model2 kullanılarak elde edilen bileşenlere ilişkin spektrum incelendiğinde düşük frekansa sahip ve enerji seviyesi yüksek salınım hareketinin varlığına ilişkin bulgu elde edilmiştir. Ayrıca normalleştirme işleminin sonucu olarak 2000 yılından önceki dönemde meydana gelen enerji ve frekans değişimleri daha net olarak gözlenebilmektedir. Normalleştirme 1990'lı yıllarda piyasada görülen ekonomik faktörler ile finansal şokların etkisiyle meydana gelen değişimlerin trend bileşeni tarafından baskılanmasını ortadan kaldırarak söz konusu dönemdeki salınımları daha net hale getirmiştir. Genel olarak 2000 yılından itibaren enerji seviyesi yüksek ve frekans seviyesi ortalama olarak yaklaşık 0,15 salınım/yıl olan salınım hareketinin meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla, 2000 yılından itibaren görülen 1667 iş günü periyoda sahip dalgalanmaya ilişkin bulgu elde edilmiştir. 2000 yılından itibaren küresel ekonomiyi etkileyen kriz ve resesyonlar ile ABD ekonomisinin yerel dinamiklerinden kaynaklanan krizler ile ve siyasi/askeri istikrarsızlıklar 2000 yılı sonrasında endeksi daha fazla etkilemiştir. Enerji yapısında dikkat çeken diğer bir özellik ise yüksek frekansa sahip enerji dalgalanmalarıdır. Finansal piyasalarda genel ekonomik koşullara ek olarak kısa dönemli fiyat hareketlerinden kaynaklandığı düşünülen bu tür enerji ve frekans değişimlerinin detaylı olarak incelenmesi

gerekmektedir. Frekans genel olarak birim zamanda fiyat endeksinde meydana gelen değişimi ifade eder. Bu bağlamda frekans endeksinin sahip olduğu değişim "hızı" olarak yorumlanabilir. Enerji ise endekste meydana gelen değişimin "şiddeti" olarak tanımlanabilir. Frekans ve enerjinin analizi, endeksin gösterdiği değişimlerin daha net tespit edilerek detaylı analizini mümkün kılmaktadır. Özellikle bileşenin sahip olduğu frekans aralığı ile en sık görülen frekans değerleri, bileşenin temel karakteristik özelliklerini gösterdiği için tanımlayıcı istatistik olarak kullanılabilir. Frekans verilerinin tümü genel olarak incelendiğinde yüksek enerjiye sahip salınımlara ait frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,06 - 0,25 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla, dalgaların periyotları yaklaşık 1000 - 4167 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,18 salınım/yıl, 0,16 salınım/yıl ve 0,23 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1398 işgünü, 1563 işgünü ve 1087 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Şekil 9: S&P 500 Endeksine İlişkin Genel Spektrum Sonuçları - Tüm Modeller



Spektrumlar genel olarak incelendiğinde nispeten sabit ve düşük frekansa sahip dalgalanmaların yanında frekans değeri oldukça dalgalanan yüksek frekanslı bileşenler gözlenmiştir. Söz konusu frekans dalgalanmaları bileşenin doğrusal olmaması nedeniyle meydana gelmiştir. Zamana bağlı olarak değişen frekans ve enerji dalgalanmalarının detaylı analiz edilmesi, endeksi oluşturan bileşenlerin sahip olduğu özelliklerin anlaşılması açısından önemlidir. Dolayısıyla bir sonraki bölümde bileşenlere ilişkin spektrumlar detaylı olarak incelenmiştir.

3.2.4. Detaylı Spektral Analiz Sonuçları

Bu bölümde Spektrum sonuçlarının detaylı teknik analizi gerçekleştirilmiştir. Spektrum sonuçları incelendiğinde Hilbert ve DQ sonuçlarının birbirleriyle örtüştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla, sadece Hilbert spektrum sonuçları bu bölümde ifade edilmiştir. GZC spektrumu ise özellikle düşük frekanslı bileşenlerin yorumlanmasında ve tüm bileşenlerin genel eğilimlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. GZC yöntemi; dalgaların üç ve sıfır-geçiş noktalarının kombinasyonlarını kullanmaktadır; dolayısıyla tek bir dalga içeren salınımlarda GZC yönteminin kullanılabilmesi için yeterli koordinat bulunamamakta; dolayısıyla spektrum hesaplanamamaktadır. Bununla birlikte söz konusu bileşenlerde frekans çok düşük düzeyde gerçekleştiği için NHT ve DQ spektrumları sabit ve sıfır değerine çok yakın olarak hesaplanmıştır. DQ ve GZC spektrumlarına ilişkin şekillere çalışmanın ek bölümünde yer verilmiştir.

3.2.4.1. Model1 Sonuçları

Şekil 10, S&P 500 endeksine ilişkin Model1 kullanılarak elde edilen NHT spektrum sonuçlarını göstermektedir. IMF1 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 30 - 120 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 2 - 8,33 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 46,59 salınım/yıl, 75,91 salınım/yıl ve 75,26 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 5,37 işgünü, 3,29 işgünü ve 3,32 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

En yüksek enerjiye sahip salınımlar, 2008 sonu ve 2009 başında meydana gelmiştir. Ayrıca 2001 yılı başı ve 2002 yılının ikinci yarısında da görece olarak şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. Diğer modellere benzer şekilde DQ yöntemi de düşük frekanslarda yukarıda belirtilen tarihlerde yüksek enerjiye sahip salınımlar tespit etmiştir. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde 1998 - 2002 ve 2008 yılından itibaren enerji genel seviyesinin diğer dönemlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1997 sonu, 1998 dördüncü çeyrek, 2000 birinci çeyrek, 2001 başı, 2002 üçüncü çeyrek ve 2008 dördüncü çeyrek - 2009 birinci çeyrek döneminde en yüksek enerjiye sahip dalgaların varlığı tespit edilmiştir.

IMF2 bileşeni incelendiğinde ise IMF1 bileşeninde meydana gelen frekans ve enerji yapısının daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 5 - 60,55 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 4,13 - 50 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 24,06 salınım/yıl, 36,69 salınım/yıl ve 26,07 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 10,39 işgünü, 6,81 işgünü ve 9,59 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Enerji genel seviyesi 1998 - 2002 dönemi ile 2008 yılı ve sonrasında yüksek seyretmiştir. Salınım enerjisinin detaylı incelenmesi sonucunda 1997 sonu, 1999 birinci çeyrek, 2002 üçüncü çeyrek, 2003 ikinci çeyrek, 2008 başı, 2009 başı ve 2011 başında enerji değeri yüksek dalgalar tespit edilmiştir.

IMF3 bileşeninde bölgesel yoğunlaşmalardan ziyade noktasal şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 5 - 26 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 9,62 - 50 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 23,01 salınım/yıl, 19,96 salınım/yıl ve 9,58 salınım/yıl

değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 10,86 işgünü, 12,53 işgünü ve 26,10 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Enerji genel seviyesi 1998 - 2002 ve 2009 sonrasında yüksek seyretmiştir. Salınım enerjisinin detaylı incelenmesi sonucunda 1998 ikinci çeyrek, 1999 sonu - 2000 ikinci çeyrek dönemi, 2001 dördüncü çeyrek, 2002 ikinci yarı, 2009 başı ve sonu, 2010 üçüncü çeyrek dönemlerinde enerji değeri yüksek dalgalar tespit edilmiştir.

IMF4 bileşeni de IMF3 bileşenine benzer yapı göstermiştir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 1,4 - 11,38 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 21,97 - 178,57 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 9,17 salınım/yıl, 7,01 salınım/yıl ve 6,41 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 27,26 işgünü, 35,66 işgünü ve 39 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Salınım enerjisi belirli bölgelerde yoğunlaşmadan kısa süreli artışlar göstermiştir. En yüksek enerjiye sahip salınımlar 2009 yılı başında ve 2002 yılı ortalarında gözlemlenmiştir. Salınım enerjisinin detaylı incelenmesi sonucunda 1992 birinci çeyrek, 1997 sonu, 1998 dördüncü çeyrek, 1999 dördüncü çeyrek, 2001 dördüncü çeyrek, 2002 ikinci yarı, 2008 birinci çeyrek ve 2009 birinci çeyrek dönemlerinde enerji değeri yüksek dalgalar tespit edilmiştir.

IMF5 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,75 - 4,56 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 54,82 - 333,33 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 3,08 salınım/yıl, 1,20 salınım/yıl ve 2,28 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 81,17 işgünü, 208,33 işgünü ve 109,65 işgünü ortalama periyoda

sahiptir. Frekans verilerinin oldukça dalgalı bir yapı sergilediği gözlemlenmiştir. Özellikle 1997 - 2002 yılları arasındaki dönemde frekans oldukça değişken olmakla birlikte göreceli olarak yüksek enerjiye sahip salınımlar görülmüştür. Frekans zirveleri incelendiğinde söz konusu zirve noktalarında enerji seviyesinin düşük ve 1995 ikinci çeyrek, 1998 dördüncü çeyrek, 1999 ikinci çeyrek, 2003 dördüncü çeyrek ve 2009 dördüncü çeyrek döneminde meydana geldiği tespit edilmiştir.

2008 yılı sonu ile 2009 yılı başlarında ve 1998 yılında en yüksek enerji seviyesine sahip salınımlar gözlemlenmiştir. Enerji genel seviyesi 1997 - 2002 dönemi ile 2008 yılında diğer dönemlere oranla yüksek gerçekleşmiştir. Bileşenin enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1997 üçüncü çeyrek - 1998 ikinci çeyrek dönemi, 1999 dördüncü çeyrek, 2008 üçüncü çeyrek - 2009 birinci çeyrek döneminde en yüksek enerji seviyesine sahip dalgaların oluştuğu görülmektedir.

IMF6 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,53 - 2,36 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 105,93 - 471,70 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,65 salınım/yıl, 0,69 salınım/yıl ve 0,53 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 384,62 işgünü, 362,32 işgünü ve 471,70 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Bileşende frekans dalgalanmaları oldukça yaygın olarak görülmektedir. Söz konusu dalgalanmalar 1998 yılından itibaren ani şekilde artmış ve 1999 yılı başlarında en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Sonrasında meydana gelen frekans dalgalanmalarındaki azalış eğilimi 2006 yılı sonuna kadar devam etmiş; hemen sonrasında ise aşırı frekans değişimleri meydana gelmiştir. Frekans zirveleri incelendiğinde söz konusu zirve noktalarında enerji seviyesinin düşük ve 1999 ikinci çeyrek, 2000 sonu, 2007 sonu ve 2009 dördüncü çeyrek döneminde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Frekans ve salınım enerjisi birlikte dikkate alındığında ise 1998 yılı, 2001 yılı ortası ile 2002 yılı sonları arasında kalan dönem, 2008 yılı ve 2011 yılı başında

şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1998 yılı, 2001 üçüncü çeyrek - 2003 birinci çeyrek dönemi ve 2008 ikinci çeyrek - 2009 birinci çeyrek dönemi ile 2011 başında enerji seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle 2002 ikinci çeyrek ve 2008 dördüncü çeyrek dönemlerinde enerji en yüksek düzeye çıkmıştır.

IMF7 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,38 - 0,73 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 342,47 - 657,89 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,40 salınım/yıl, 0,45 salınım/yıl ve 0,41 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 625 işgünü, 555,55 işgünü ve 609,70 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Frekans zirveleri incelendiğinde söz konusu zirve noktalarında enerji seviyesinin düşük ve 1995 üçüncü çeyrek, 1998 sonu - 1999 başı, 2000 dördüncü çeyrek ve 2007 üçüncü çeyrek döneminde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bileşen frekansın ve enerjinin değişkenlik gösterdiği spektruma sahiptir. 1994 - 1999, 2001 sonu, 2008 sonu ile 2011 yılı başı arasında kalan dönemlerde şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Frekans ve salınım enerjisinin birlikte arttığı dönemler ise 1995 yılının ortaları ve 1999 yılı başlarıdır. En yüksek enerjiye sahip salınımlar ise 2010 yılı sonu ile 2011 yılı başında görülmüştür. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 2002 yılı ve 2008 dördüncü çeyrekten itibaren enerji seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle 2009 ikinci ve üçüncü çeyrek dönemleri ile 2010 yılı ve sonrasında enerji en yüksek düzeye çıkmıştır. Enerji genel seviyesi 1999 ikinci çeyrek - 2001 sonu dönemi ile 2004 ikinci çeyrek - 2008 birinci çeyrek döneminde oldukça düşüktür

IMF8 bileşeni yukarıda ifade edilen diğer bileşenlerden farklı olarak salınım enerjisi sürekli azalan niteliktedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,20 - 0,44 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 568,18 - 1250 iş

günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,22 salınım/yıl, 0,24 salınım/yıl ve 0,20 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1136,36 işgünü, 1041,67 işgünü ve 1250 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Frekans, 2003 yılı ortalarına kadar artış eğilimi göstermiş sonrasında ise ani bir sıçrama ile 2005 - 2006 döneminde en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Daha sonra ise düzenli bir azalma eğilimi göstermiştir. Frekans değerlerindeki küçük ölçekli değişimler dikkate alındığında ise 1998 yılı sonu, 2000 yılının ikinci yarısı, 2002 yılının birinci yarısı, 2007 yılının birinci yarısı ve 2009 yılının birinci yarısında frekans küçük ölçekli zirve noktalarına sahiptir.

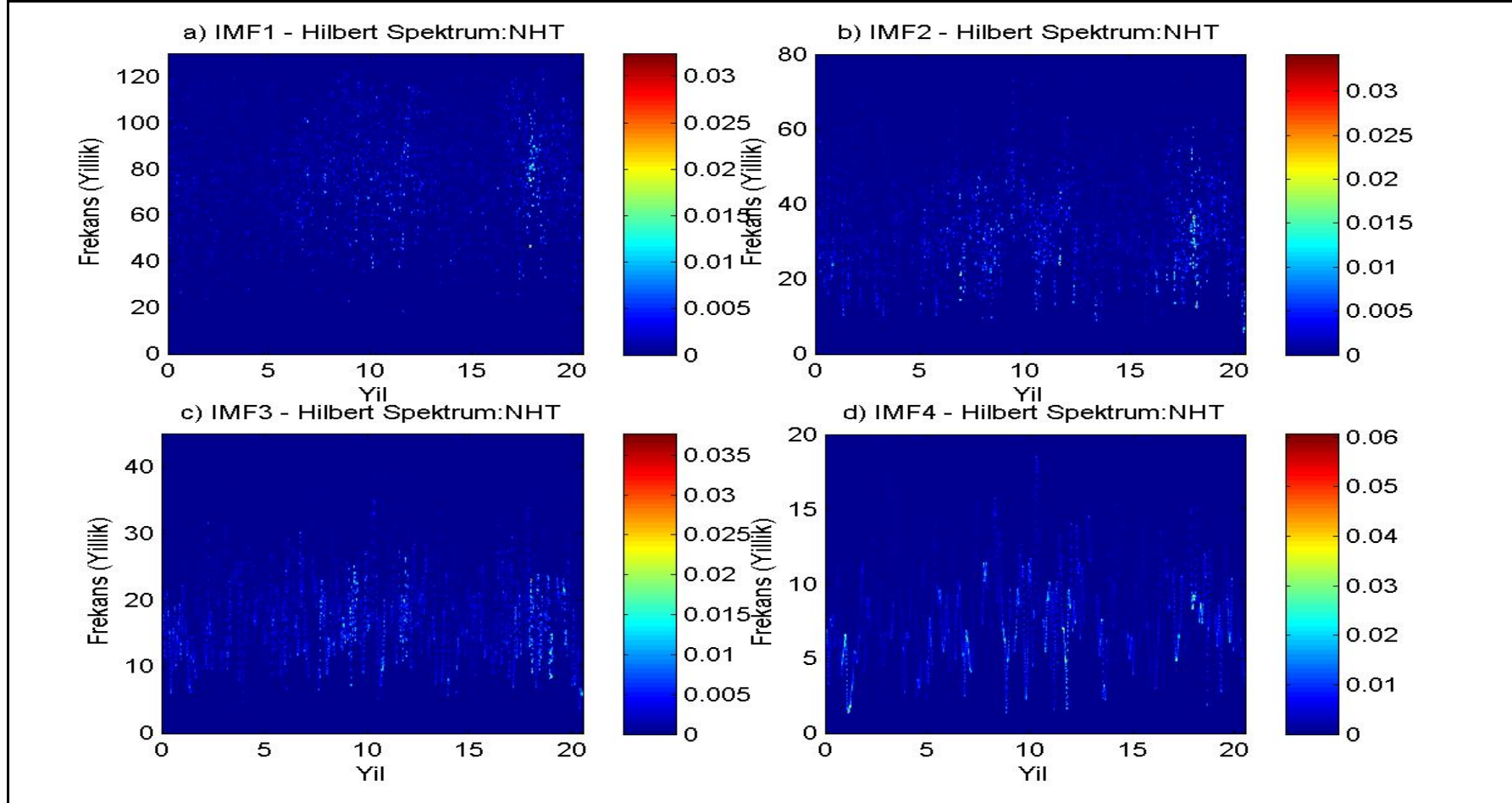
IMF9 bileşeni de frekans ve enerji eğilimleri açısından IMF8 bileşeniyle benzer özellik göstermektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,09 - 0,19 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 1315,79 - 2777,78 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin yaklaşık 0,10 salınım/yıl değerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü 2525,26 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

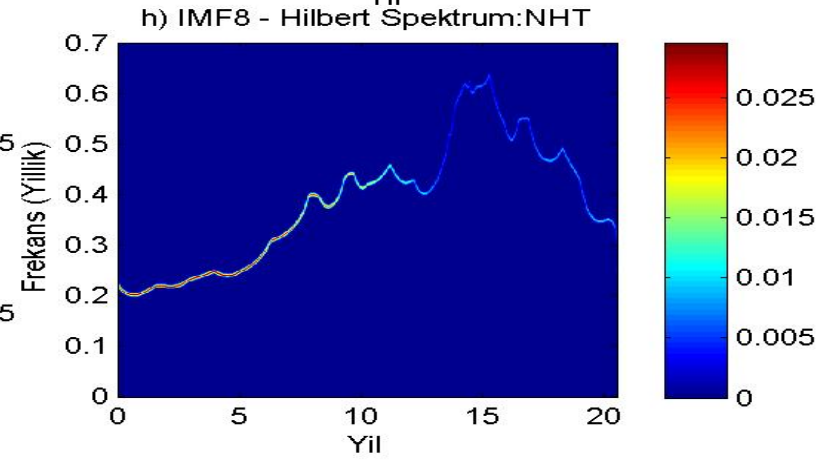
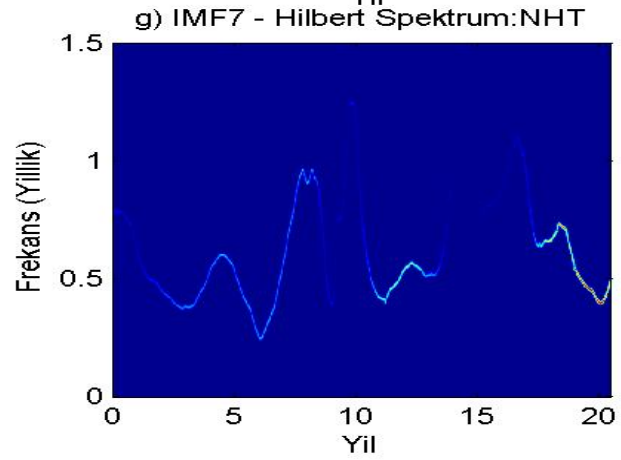
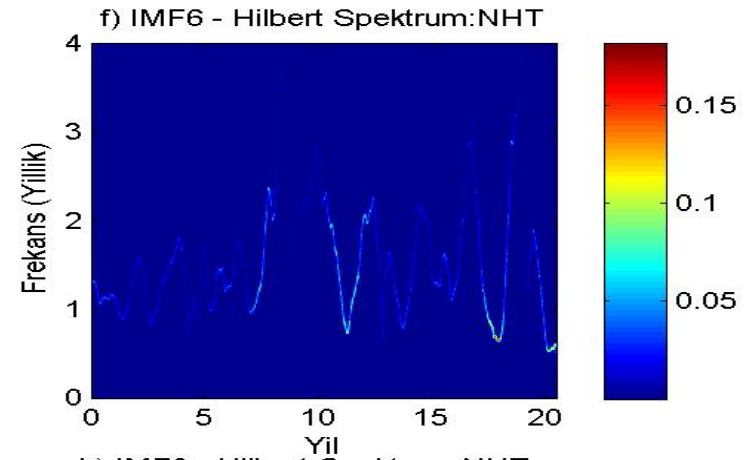
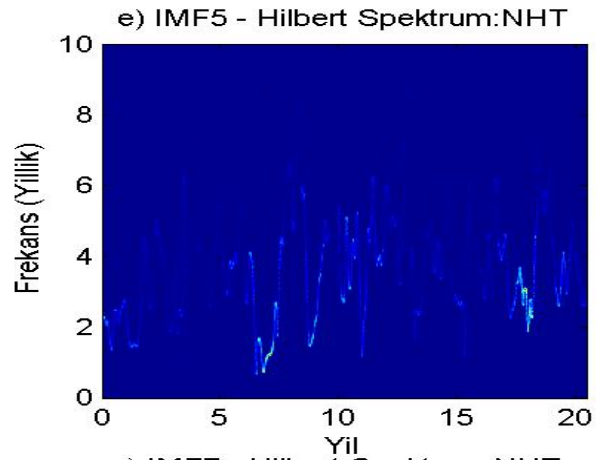
Salınım enerjisi 1991 yılından itibaren 2011 yılına kadar sürekli olarak azalmıştır. Frekans ise 2003 yılı ortalarına kadar artmış sonrasında ise ani bir sıçrama göstererek 2006 yılının ilk yarısında en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Sonrasında ise azalma eğilimi göstermiştir. IMF9 bileşeninde; IMF8 bileşeninin sahip olduğu küçük ölçekli frekans salınımları görülmemektedir.

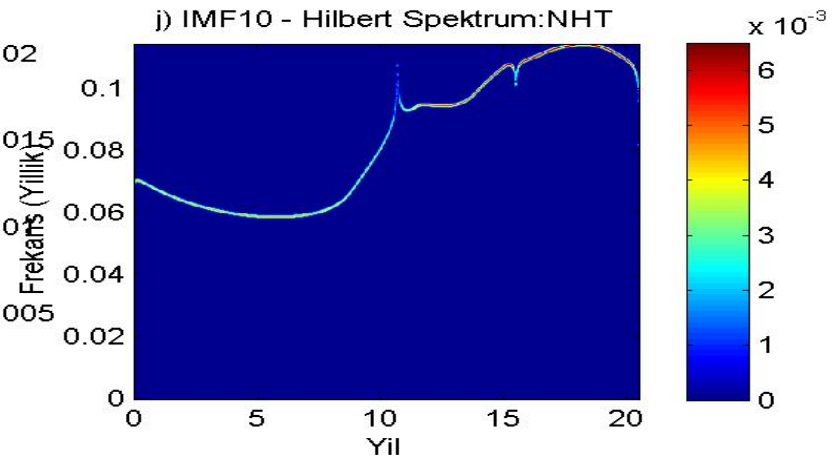
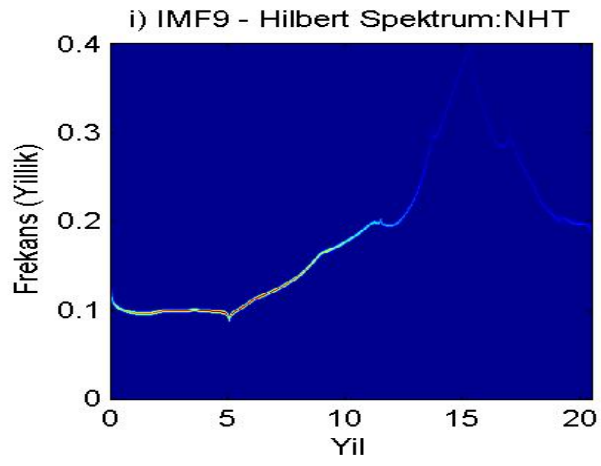
IMF10 bileşeni genel olarak IMF8 bileşeniyle örtüşen frekans yapısına sahiptir. Frekans, 1997 yılı ortalarından 2009 yılının birinci yarısına kadar artma eğilimi göstermiştir sonrasında ise genel bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Frekans enerjisi ise beklendiği üzere oldukça düşüktür. Frekans değerleri 0,06 - 0,11 salınım/yıl aralığında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla periyot yaklaşık olarak 2272 - 4167 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Bileşenin enerjisi genel olarak 2006 ortalarına

kadar yüksek seyretmiş sonrasında ise gittikçe azalmıştır. 1996 - 1997 ortası döneminde frekans en düşük seviyesinde gerçekleşmiştir ve ardından meydana gelen artış eğilimi 2009 yılının ilk yarısında gerçekleşen frekans zirvesine kadar devam etmiştir. Sonrası dönemde de hem frekans hem de salınım enerjisi azalma eğilimi göstermektedir.

Şekil 10: S&P 500 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model1







3.2.4.2. Model2 Sonuçları

Şekil 11, S&P 500 endeksine ilişkin Model2 kullanılarak elde edilen NHT spektrum sonuçlarını göstermektedir. IMF1 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 37,14 - 117,60 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 2,13 - 6,73 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 74,61 salınım/yıl, 82,76 salınım/yıl ve 84,06 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 3,35 işgünü, 3,02 işgünü ve 2,97 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Salınım enerjisi dikkate alındığında genel olarak enerjisi yüksek salınımların 1998 - 2002 dönemi ile 2008 - 2011 yıllarında yoğunlaşmaktadır. En yüksek enerji seviyesine sahip salınımlar 1997 sonu, 1998 dördüncü çeyrek, 2001 birinci çeyrek, 2002 dördüncü çeyrek ve 2009 başında meydana gelmiştir.

IMF2 bileşeni incelendiğinde ise IMF1 bileşeninde meydana gelen frekans ve şiddet yapısının daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 18,72 - 67,76 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 3,69 - 13,35 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 21,43 salınım/yıl, 41,05 salınım/yıl ve 18,72 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 11,67 işgünü, 6,09 işgünü ve 13,41 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1998 - 2002 ve 2008 - 2009 dönemlerinde salınım enerjisi genel seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, 2008 sonu - 2009 başı döneminde en yüksek enerji seviyesine sahip dalga meydana gelmiştir. 1997 sonu, 1998 dördüncü çeyrek, 2000 ikinci çeyrek ve 2002 üçüncü çeyrekte enerji seviyesi nispeten yüksek dalgalar meydana gelmiştir.

IMF3 bileşeninde bölgesel yoğunlaşmalardan ziyade noktasal enerji artışlarına sahip salınımlar gözlenmiştir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 7 - 42 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 5,95 - 35,71 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 30,08 salınım/yıl, 29,77 salınım/yıl ve 35,04 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 8,31 işgünü, 8,40 işgünü ve 7,13 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

2002 yılının ortalarında frekans seviyesi yükselmiş ve enerji genel seviyesi oldukça yüksektir. Genel olarak frekans yapısı incelendiğinde, frekansın 1999 - 2003 yıllarını kapsayan dönemde enerji ve frekans düzeylerinin arttığı tespit edilmiştir. 2009 yılından itibaren frekans değerlerinin artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1997 sonu - 2002 dönemi ile 2008 yılından itibaren enerji genel seviyesinin nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir. 1997 sonu, 1998 dördüncü çeyrek, 2000 sonu, 2002 üçüncü çeyrek, 2009 başı ve 2010 ortalarında en yüksek enerji seviyesine sahip dalgalar meydana gelmiştir.

IMF4 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 3 - 25 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 10 - 83,33 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 11,53 salınım/yıl, 14,54 salınım/yıl ve 12,13 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 21,68 işgünü, 17,19 işgünü ve 20,61 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Bileşendeki frekans değişimleri net olarak görülebilmektedir. Frekans değişimleri genel olarak 2005 yılının ikinci yarısı ile 2007 yılının ilk ayları arasında kalan dönemde nispeten daha az meydana gelmekle birlikte 2007 yılının ikinci yarısında frekans ani şekilde dalgalanmıştır. 2000 yılında frekans giderek artan

biçimde dalgalanmış ve yüksek enerjiye sahip salınımlar meydana gelmiştir. Yüksek enerji seviyesine sahip salınımlar 1998 yılının ikinci yarısı ile 2003 yılı arasında kalan dönem ile 2009 yılında meydana gelmiştir. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1998 yılı üçüncü çeyrek, 2000 yılı birinci yarısı, 2001 ikinci çeyrek, 2002 üçüncü çeyrek, 2009 birinci çeyrek dönemlerinde en yüksek enerji seviyesine sahip dalgaların oluştuğu tespit edilmiştir.

IMF5 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 1,9 - 11 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 22,73 - 131,58 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 8,32 salınım/yıl, 8,22 salınım/yıl ve 7,02 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 30,05 işgünü, 30,41 işgünü ve 35,61 işgünü ortalama periyoda sahiptir. IMF5 bileşeni genel olarak IMF4 bileşeniyle örtüşen frekans yapısına sahip olmakla birlikte salınım enerjisi bakımından genel olarak salınım enerji seviyesinin oldukça küçük olduğu görülmektedir. 1999 yılının ikinci yarısı ile 2001 yılı başlarında ve 2009 yılında yüksek enerjiye sahip salınımlar gözlemlenmiştir. Genel frekans değişimleri incelendiğinde 2007 yılı ortalarına kadar frekans değerlerindeki dalgalanmalar gittikçe artmıştır. Sonrasında ise frekans daha az dalgalanmakla birlikte salınım enerjisi oldukça artmıştır. 2008 sonu - 2009 birinci çeyrek döneminde enerji seviyesi en yüksek düzeye çıkmıştır. 2007 yılı ortalarında ve 1999 üçüncü çeyrek dönemlerinde frekans zirveleri gözlenmiştir.

IMF6 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 1,88 - 5,29 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 47,26 - 132,98 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 2,86 salınım/yıl, 3,01 salınım/yıl ve 3,28 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 87,41 işgünü, 83,21 işgünü ve 76,22 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Bileşende frekans ve salınım enerjisinde meydana gelen değişiklikler net

olarak görülebilmektedir. Frekans dalgalanmaları açısından spektrum incelendiğinde, 1995 yılının ikinci yarısı ile 1996 yılının ikinci yarısı arasında kalan dönem dikkat çekicidir; bu dönemde frekans dalgalanmaları minimum düzeyde gerçekleşmiştir. Sonrasında ise frekans dalgalanmaları genel bir artış eğilimine girmiş ve söz konusu eğilim 2004 yılının sonlarında kadar devam etmiştir. 2004 yılı sonları ile 2006 yılı sonları arasında kalan dönemde frekans dalgalanmaları nispeten düşük gerçekleşmiştir. Daha sonraki dönem ise ani dalgalanmalara maruz kalmıştır. Frekans dalgalanmaları incelendiğinde ise 1999 başı, 2007 ikinci çeyrek, 2009 başı, 2002 birinci çeyrek, 2003 birinci çeyrek ve 2004 ikinci çeyrekte frekans zirveleri gözlenmiştir. Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1998 üçüncü çeyrek, 1999 sonu, 2001 birinci çeyrek, 2002 birinci yarısı ve 2008 yılında enerji seviyesi yüksektir. 2009 yılının ikinci çeyreğinde ise enerji seviyesi en üst düzeye çıkmıştır.

IMF7 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,53 - 2,74 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 91,24 - 471,70 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 1,36 salınım/yıl, 1,27 salınım/yıl ve 1,17 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 183,82 işgünü, 196,85 işgünü ve 213,68 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Bileşen incelendiğinde oldukça değişken frekans yapısına sahip olduğu söylenebilir. Frekans, 1996 öncesi dönemde ve 2002 yılının ikinci yarısından itibaren oldukça dalgalı bir seyir izlemektedir. Özellikle 1998 yılı ile 1999 yılının ikinci yarısına kadar olan dönemde frekans değişimi az olsa da salınım enerjisi oldukça yüksektir. 1992 ikinci çeyrek, 2003 başı, 2007 birinci çeyrek ve 2009 başında frekans zirveleri gözlenmiştir. Frekans ve enerji birlikte ele alındığında ise 2001 yılının ortaları, 2003 ve 2009 yıllarının ilk ayları salınım enerjisinin yüksek olduğu frekans zirve noktalarıdır. Ayrıca, 2007 yılı ortalarında frekans en yüksek seviyesine ulaşmıştır.

Enerji yapısı ayrıntılı incelendiğinde; 1996 üçüncü çeyrek, 1998 üçüncü çeyrek, 2000 sonu - 2001 üçüncü çeyrek arasındaki dönem, 2002 ikinci yarısı, 2003

yılıının başı ve ikinci çeyrek, 2006 sonu, 2008 yılının tümü, 2009 birinci çeyrek, 2010 başı ve dördüncü çeyrek ve 2011 başında enerji seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir.

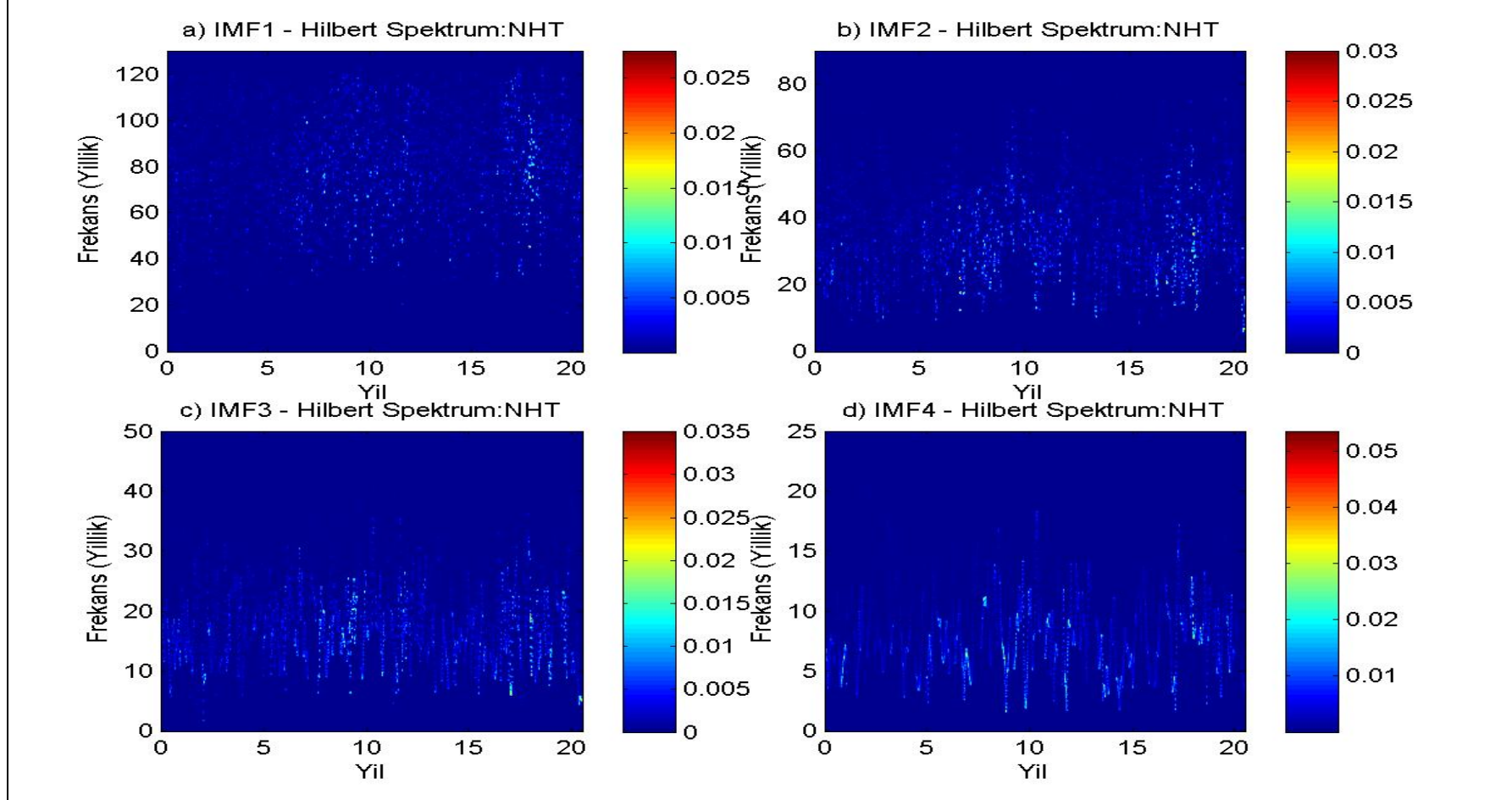
IMF8 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,38 - 0,96 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 657,89 - 260,42 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,58 salınım/yıl, 0,59 salınım/yıl ve 0,49 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 431 işgünü, 423,73 işgünü ve 510,20 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Spektrum analiz sonuçlarında göre frekans 2008 yılı başına kadar gittikçe dalgalanan ve salınım enerjisi ise genel olarak azalan bir yapı sergilemiştir. Dolayısıyla söz konusu dönemde bileşen düzensiz dalgalanmalar göstermiş fakat enerji genel olarak düşük seyretmiştir. 2008 yılı itibaren salınım enerjisi önemli ölçüde artmıştır. Dolayısıyla, 2008 den sonra bileşenin dalgalanma hızı nispeten düşük olmasına rağmen enerji oldukça artmış ve 2009 yılından sonra en yüksek düzeye çıkmıştır. Frekans zirveleri ayrıntılı incelendiğinde, söz konusu zirvelerin 1991 ikinci çeyrek, 1992 üçüncü çeyrek, 1995 birinci çeyrek, 1998 sonu, 2001 üçüncü çeyrek, 2002 sonu ve 2007 üçüncü çeyrek dönemlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

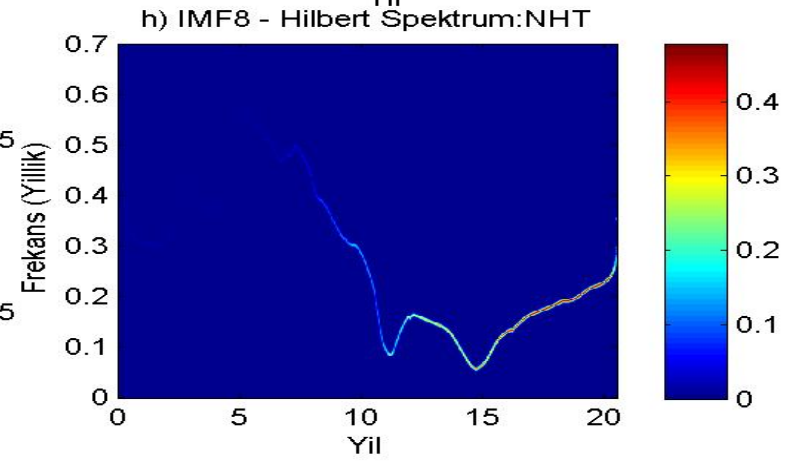
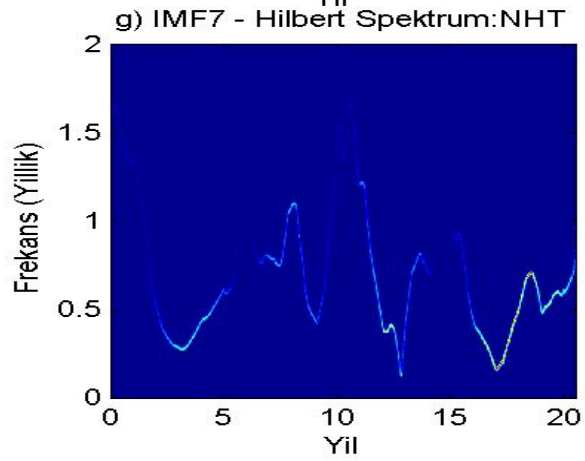
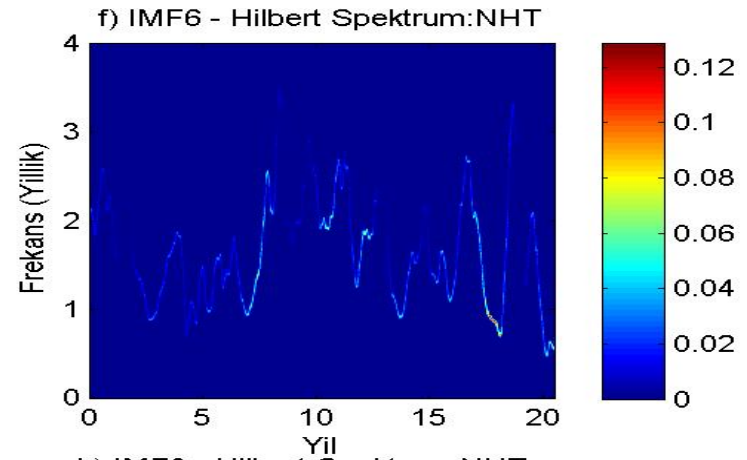
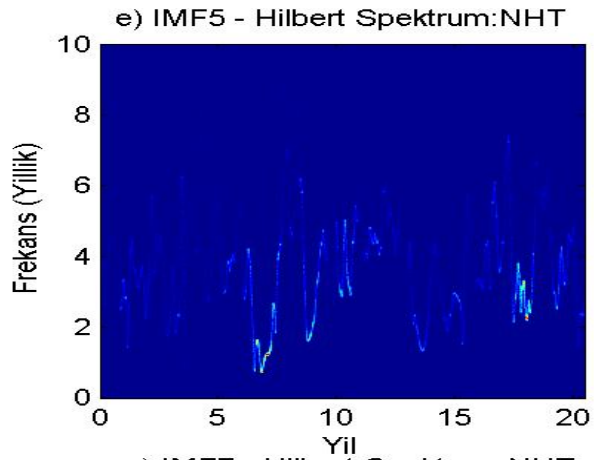
IMF9 bileşenine ilişkin frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,19 - 0,39 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 641 - 1315,79 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,25 salınım/yıl, 0,37 salınım/yıl ve 0,24 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1000 işgünü, 675,68 işgünü ve 1041,67 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Dikkat çeken frekans zirveleri 1996 yılının başı ve 2002 yılının sonunda meydana gelmiştir. Söz konusu dönemde salınım enerjisi düşük olmasına rağmen frekans değerleri diğer noktalara oranla aşırı yüksek kaydedilmiştir. 2005 yılından

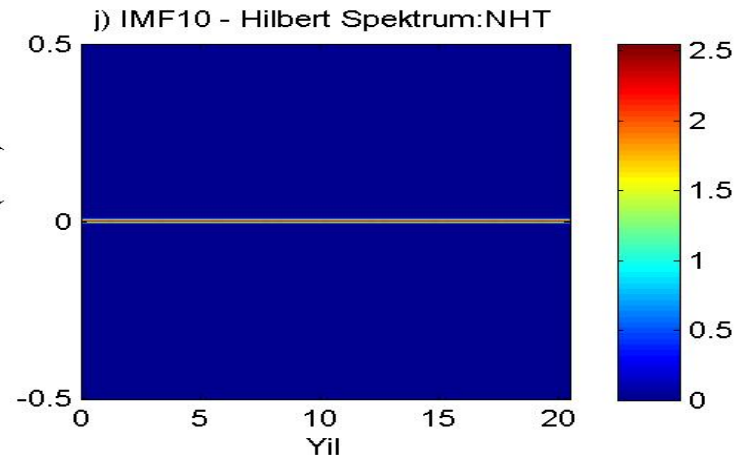
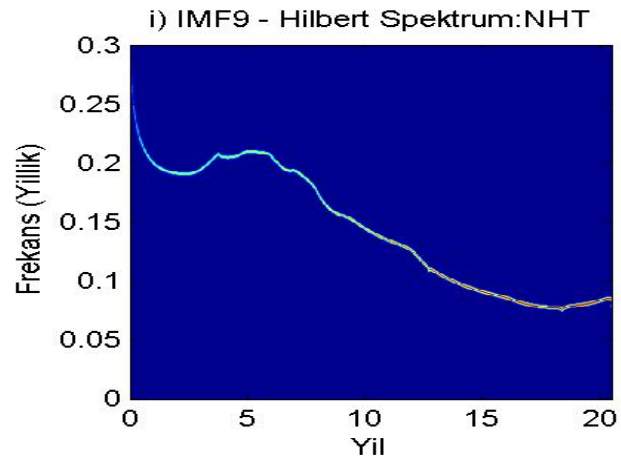
itibaren salınım enerjisi artmaya başlamış ve 2008 ikinci çeyrek döneminden itibaren en yüksek değerine erişmiştir.

IMF10 bileşeni frekansın genel olarak yavaş bir artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Frekans değerleri 0,07 - 0,17 salınım/yıl aralığında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla periyot yaklaşık olarak 1470 - 3571 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Salınım şiddetinde meydana gelen değişimler oldukça küçük gerçekleşmiştir ve genel olarak ihmal edilebilir. Frekans detaylı incelendiğinde 2001 birinci çeyrek ve 2002 yılının ikinci çeyreği arasındaki dönemde zirve yaptığı söylenebilir. Ayrıca, 1991 dördüncü çeyrekte ise yerel frekans zirvesi gözlenmiştir. 1994 yılının dördüncü çeyreğinde ise frekans en düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Salınım şiddetindeki değişim GZC ya da DQ yönteminde daha net görülmektedir. En şiddetli salınım ise 2001 yılında meydana gelmiştir. Hilbert ve DQ yöntemlerinin bileşenin son dönemlerine ilişkin frekans değerlerini birbirlerinden farklı hesaplamalarının nedeni Söz konusu dönemde bileşende formüllerin uygulanabilmesi için yeterli sıfır-geçiş ya da uç noktanın olmamasıdır.

Şekil 11: S&P 500 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model2







3.3. İMKB 100 ENDEKSİNE İLİŞKİN HHT ANALİZ SONUÇLARI

3.3.1. IMF Bileşenlerine Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde önce finansal piyasa endekslerinin EMD temelli çeşitli modeller kullanılarak elde edilen IMF bileşenleri incelenmiştir. Daha sonra ise trend ve endeks genel seviyesindeki değişimleri ifade eden kalıntı terimleri incelenmiştir. Elde edilen bileşenlerin görsel olarak yorumlanması bileşenin sahip olduğu kritik öneme sahip değişimlerin tespit edilememesine neden olabilir. Çünkü bileşenler genel olarak incelendiğinde dalgalanmaların zirve - dip noktaları ile yoğunlaştığı veya seyrekleştiği dönemlerin gözlenmesine rağmen bileşenlerde meydana gelen frekans ve enerji dalgalanmaları, genel seviye eğilimleri ile frekans ve enerji zirveleri sadece spektrum analizi ile tespit edilebilir. Bileşenin kendisi yerine bileşenin sahip olduğu frekans ve enerji seviyelerinde meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi; seriyi meydana getiren bileşenlerde meydana gelen önemli değişimleri ve değişimlerin nedenlerinin analiz edilmesinde gerekli bir unsurdur. Dolayısıyla çalışmanın bu bölümünde EMD yöntemine ilişkin sadece teknik analiz yorumları gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş bir analiz yöntemi olan spektrum analizi ise bir sonraki bölümde daha detaylı incelenmiş ve spektrum sonuçları piyasa değişimleri ile finans açısından yorumlanmıştır.

Bileşenlerin analizi sürecinde yüksek frekanslı bileşenlerde meydana gelen ani artış ve azalışlar analiz edilirken orta ve düşük frekanslı bileşenlerde ise bileşenlerin sahip olduğu dalgalanmalardaki dip ve zirve noktaları analiz edilmiştir. Her bir IMF temel olarak fiyat endeksinin belirli bir bölümünü ifade eder. Yüksek frekanslı bileşenler fiyat endeksine ait kısa dönemli nispi değişimleri gösterirken düşük frekanslı bileşenler ise fiyat serisinin sahip olduğu uzun dönemli nispi değişimlerini ifade etmektedir. Bu nedenle her bir IMF fiyat endeksindeki nispi katkıyı göstermektedir. Özellikle orta ve düşük frekanslı bileşenlerin sahip olduğu dalgalanmaların dip ve zirve noktaları söz konusu nispi katkının en düşük ve en yüksek değerini belirtmesi açısından önemlidir. Ancak IMF sonuçlarının analizinde görüleceği üzere oldukça fazla değişim ve dip-zirve noktaları tespit edilmiştir.

Üstelik söz konusu nispi katkının şiddeti ve sıklığına ait kantitatif analiz yerine sadece kalitatif analiz yapılabilmektedir. Dolayısıyla kantitatif bir analiz için IMF bileşenlerinin analizinin yanında spektral analiz de yapılması bir zorunluluk halini almaktadır. Ayrıca, bileşenlerin kendisi yerine bileşenlerdeki değişimin hızı ve şiddetini ifade eden frekans ve enerji değerlerinin analiz edilmesi ekonomik analiz açısından daha yararlı sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Dolayısıyla, bu bölümde elde edilen IMF bileşenlerinin teknik analizi yapılmıştır. Bileşendeki değişimlerin yapısını gösteren frekans ve enerji değerlerinin teknik ve ekonomik analizi ise bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

3.3.1.1. Model1 Sonuçları

Model1 kullanılarak endekse ait 10 IMF bileşeni tespit edilmiştir. Şekil 12, Model1 kullanılarak elde edilen IMF bileşenlerini içermektedir. Normalleştirme süreci endekste meydana gelen küçük ölçekli fiyat hareketlerini daha belirgin hale getirmiştir. Dolayısıyla, söz konusu hareketler üzerinde etkisi olan kısa ve uzun vadeli dinamikler EMD yöntemi yardımıyla daha etkin olarak tespit edilmiştir. Bu açıdan incelendiğinde, yüksek frekanslı bileşenlerde 1997 yılı öncesinde meydana gelen fiyat hareketlerini etkileyen salınım bileşenleri net olarak tespit edilebilmektedir. IMF1 ve IMF2 bileşenleri oldukça benzer salınımlara sahiptir. IMF1 bileşeninde salınım şiddetinin yükseldiği dönem ve tarihler incelendiğinde söz konusu tarihler: 1991 ve 1992 yıllarının birinci yarıları, Şubat 1994, Nisan - Temmuz 1995 dönemi, Ocak 1997, Ekim 1997 - Şubat 1998 dönemi, Aralık 1999, 2000 ve 2001 yıllarının birinci yarıları, Aralık 2002, Mart 2003 - Aralık 2003, Mayıs 2005, Ekim 2005, 2006 yılının birinci çeyreği, Ağustos 2007, Ocak 2008 - Mart 2008 - Ekim 2008, Mart 2010 - Mayıs 2010 dönemleri olarak tespit edilmiştir.

IMF2 bileşeninde ani ve şiddetli salınımların görüldüğü tarihler ise: Ağustos 1991, Aralık 1991, Nisan 1993 - Temmuz 1993, 1994 yılının birinci çeyreği, Nisan 1995, Ocak 1997, Ekim 1997 - Temmuz 1998 dönemi ve Kasım 1997, Aralık 1999 - Mart 2000 dönemi ve Ocak 2000 - Aralık 2000, Şubat 2002 - Mart 2002, 2003

yılıının dördüncü çeyreği ve Mart 2003, Kasım 2009, Şubat 2010 - Mayıs 2010 dönemi olarak tespit edilmiştir.

IMF3 bileşenin ortalama periyodu yaklaşık 7 iş günü olarak tespit edilmiştir. Söz konusu bileşendeki salınımlar genel olarak daha yüksek frekanslı bileşenlerle uyumlu olmakla birlikte Ocak 1991 - Ağustos 1992 dönemindeki salınım kümelenmesi ve Aralık 1993 - Haziran 1994 arasında kalan dönemde meydana gelen salınım şiddeti genel seviyesindeki artış dikkat çekicidir. 1997 ve 1998 yıllarının birinci çeyreklerinde şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. Ayrıca, Aralık 1999 - Nisan 2002 döneminde de salınımlar nispeten şiddetli gerçekleşmiştir.

Ortalama Periyodu 15 iş günü olan IMF4 bileşeni incelendiğinde ise IMF3 bileşenin şiddetli salınımlara sahip olduğu dönemlere paralel olarak Haziran 1993 - Nisan 1994 tarihleri ile Kasım 1999 - Ocak 2001 tarihleri arasında şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. Söz konusu tarihler dikkate alındığında; Ocak 1994, Ocak 2000 ve Kasım 2000 tarihlerinde en şiddetli salınımlar tespit edilmiştir. Salınım şiddetindeki ani değişikliklerin yanında salınım kümelenmesi de dikkati çekmektedir: Birbiriyle benzer şiddete sahip dalgalar kümelenmiştir. Söz konusu kümelenmelerin gerçekleştiği dönemler sırasıyla: Ocak 1991 - Ağustos 1992 dönemi ve özellikle Mart 1992 - Ağustos 1992 dönemi, Temmuz 1993 - Mayıs 1994 dönemi, Nisan 1995 - Ekim 1995 dönemi, Kasım 1996 - Şubat 1998 dönemi, Ekim 1999 - Mayıs 2000 dönemi, Eylül 2000 - Nisan 2001 dönemi, Mart 2003 - Mayıs 2003 dönemi, Eylül 2003 - Şubat 2004 dönemi, Ağustos 2005 - Ocak 2006 dönemi, Temmuz 2007 - Nisan 2008 dönemi, Aralık 2008, 2009 yılının ikinci yarısı olarak tespit edilmiştir.

IMF5 bileşeni ise ortalaması 33 iş günü olan ve yüksek frekanslı bileşenlere oranla daha düzenli yapıya sahip salınımlar içermektedir. Genel itibariyle salınımlar Mart 2003 tarihi temel alınarak iki alt döneme ayrılabilir. Mart 2003 sonrasında salınımların şiddeti, Ocak 2008 - Eylül 2008 dönemi hariç, nispeten düşük gerçekleşmiştir. Salınımların detaylı incelenmesi sonucunda benzer ve yüksek şiddet değerine sahip salınım kümelendikleri görülmektedir. Söz konusu kümelenmelerin

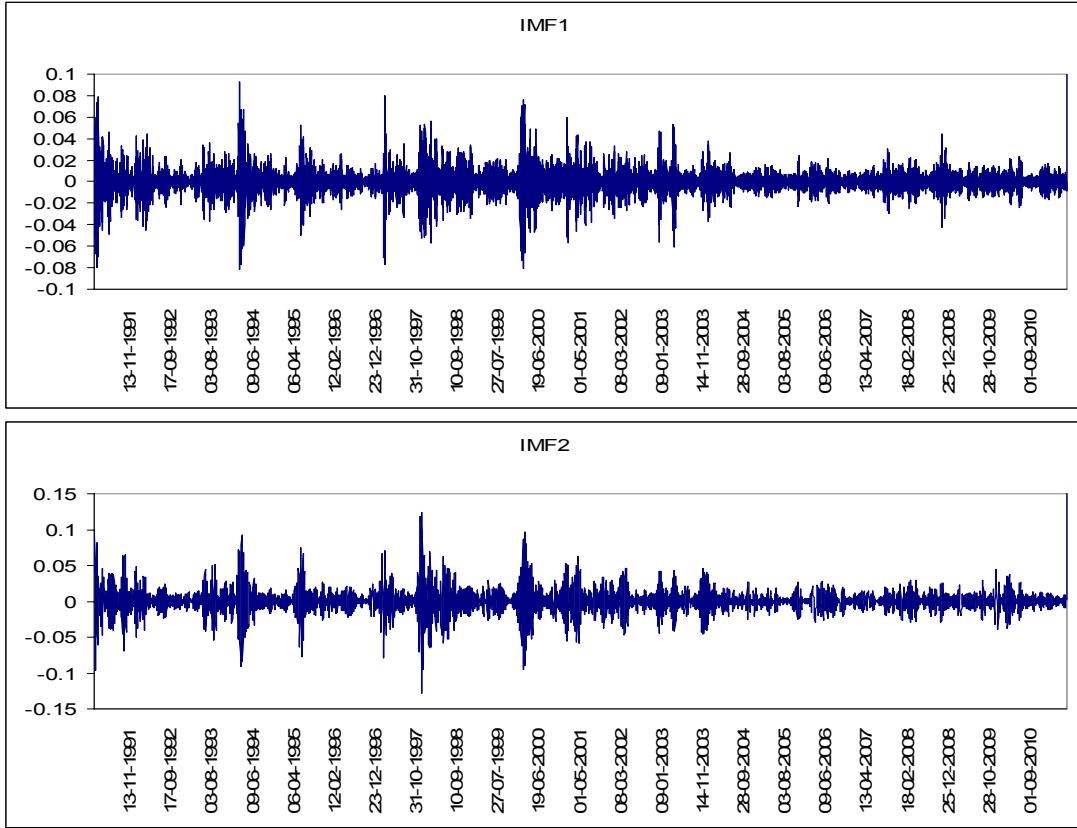
gerçekleştiği dönemler ise; Ağustos 1993 - Mayıs 1994 dönemi, Şubat 1995 - Eylül 1995 dönemi, Eylül 1997 - Eylül 1998 dönemi, Kasım 1999 - Haziran 2000 dönemi, Aralık 2000 - Ocak 2003 dönemi ve Şubat 2008 - Ekim 2008 dönemi olarak tespit edilmiştir.

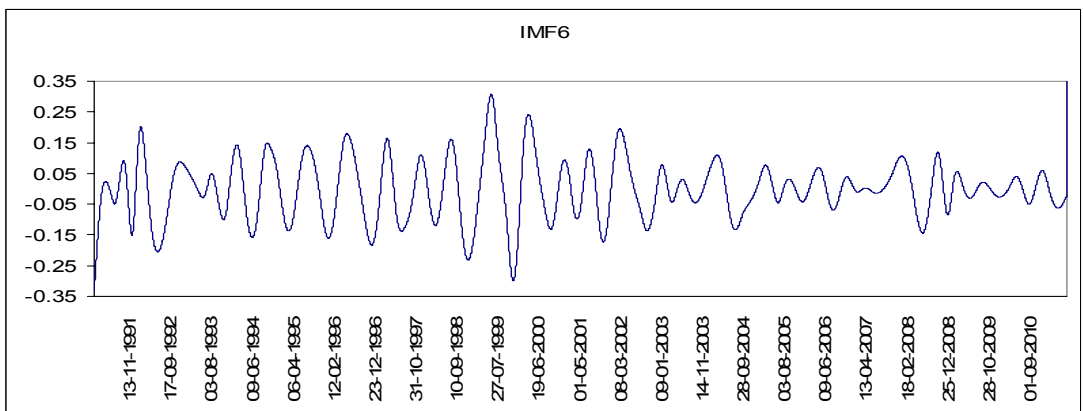
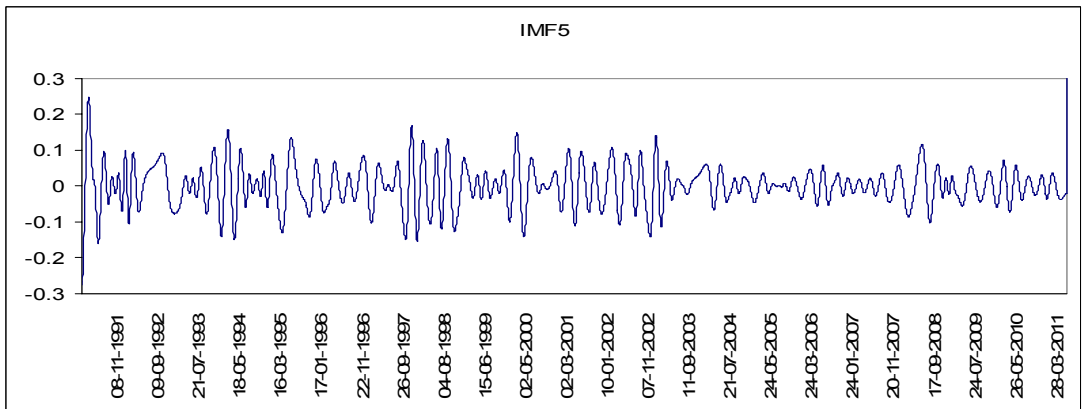
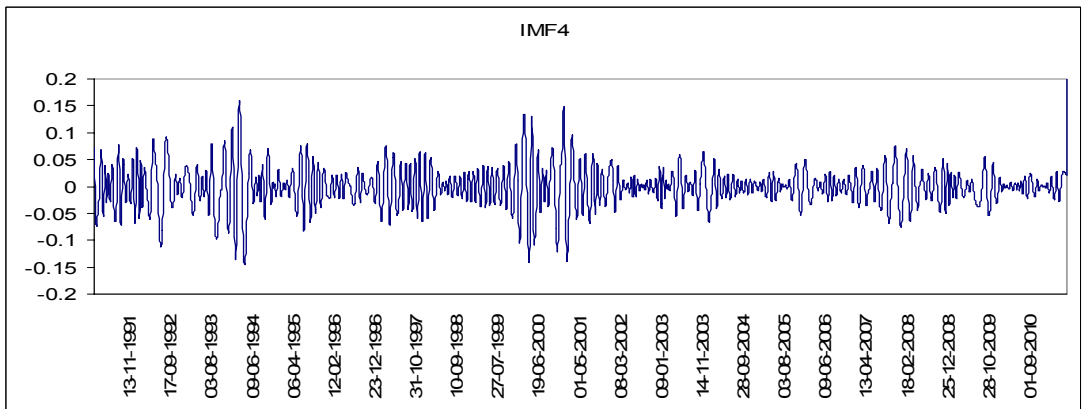
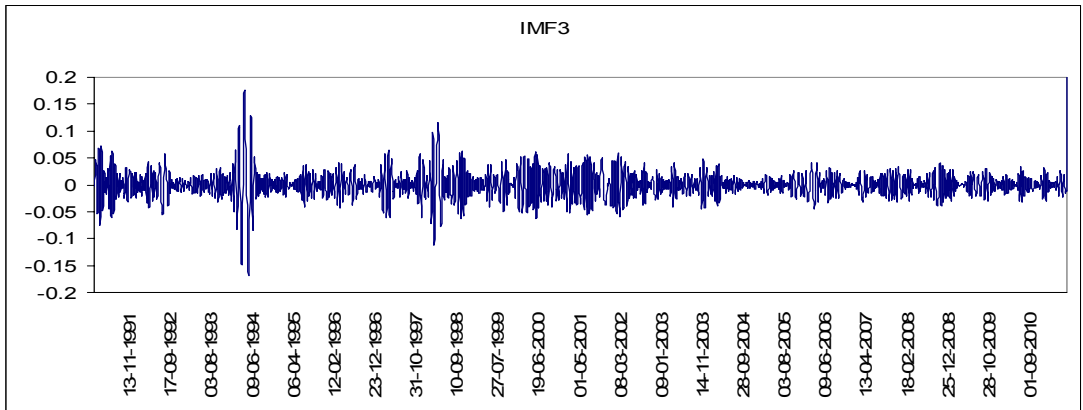
IMF6 bileşeni de genel itibariyle IMF5 gibi iki alt periyotta incelenebilir. Ortalama periyodu yaklaşık olarak 81 iş günü olan IMF6 bileşeninde Ağustos 2002 yılından önce daha şiddetli salınımlar gözlenmiştir. 1999 ve 2001 yıllarının sonunda en şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Salınımlar detaylı incelendiğinde salınım şiddetinin bazı dönemler ani olarak yükseldiği ve şiddetli dalgalar meydana getirdiği görülmektedir. Söz konusu dalgaların dip noktaları ile bu noktalar arasında oluşan zirve noktaları sırasıyla: Ekim 1991 - Aralık 1991 - Mayıs 1992, Ekim 1998 - Mayıs 1999 - Ekim 1999, Ekim 1999 - Şubat 2000 - Ağustos 2000, Eylül 2001 - Ocak 2002 - Ağustos 2002, Haziran 2007 - Aralık 2007 - Mayıs - 2008, Mayıs 2008 - Eylül 2008 - Aralık 2008 tarihinde gerçekleşmiştir.

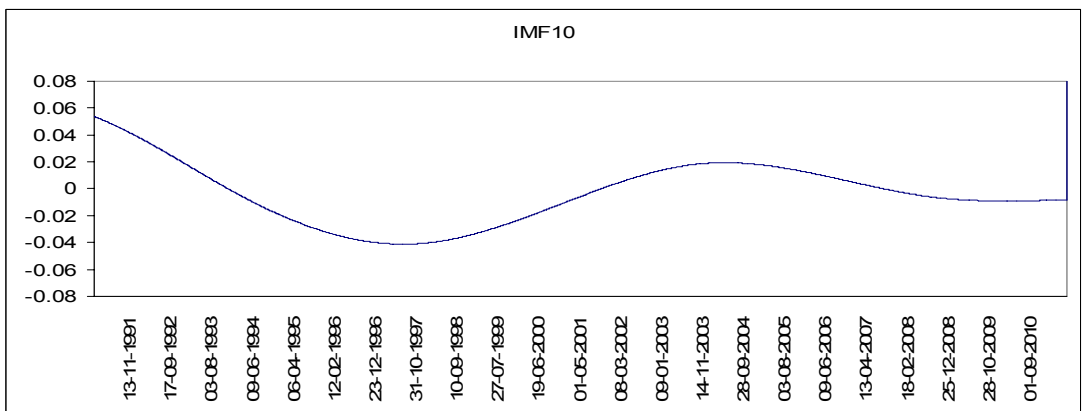
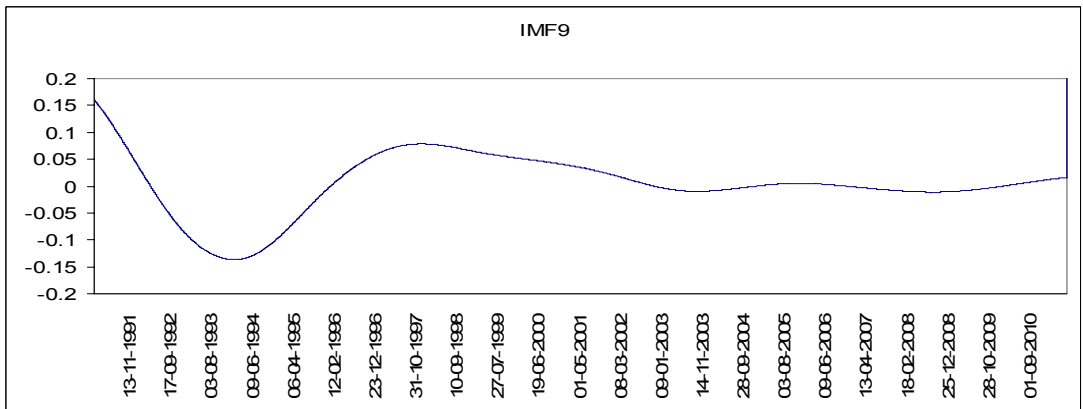
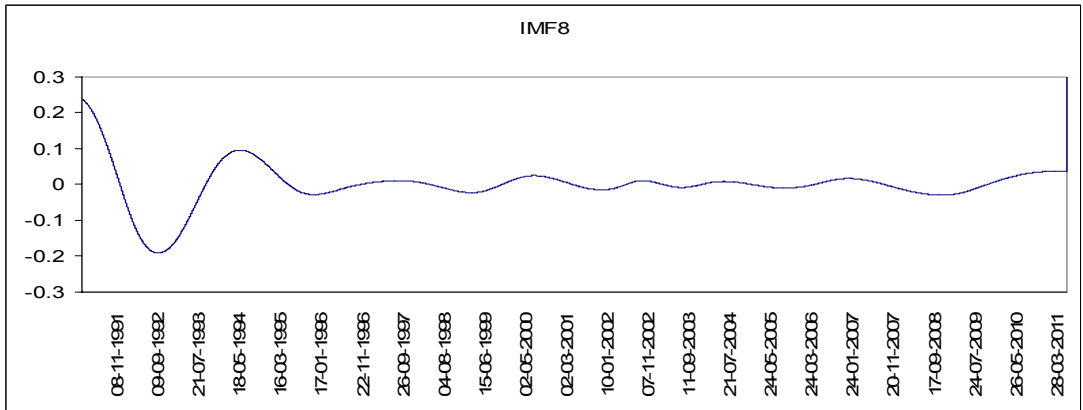
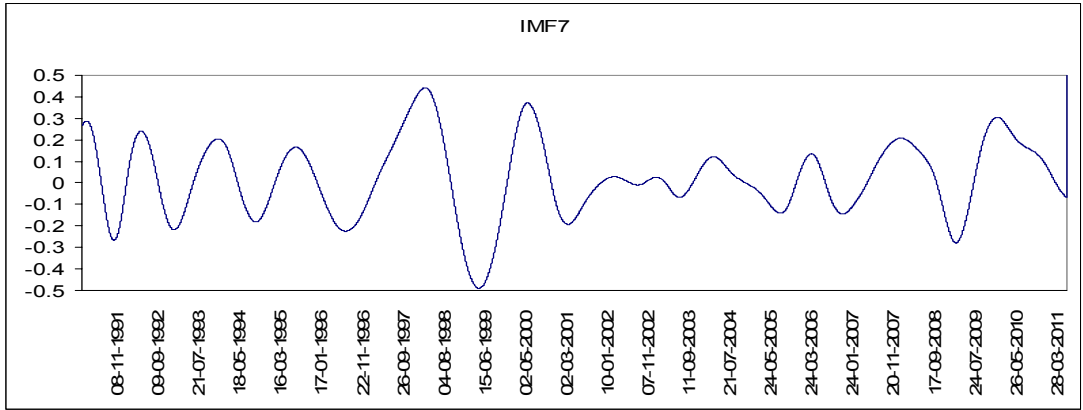
IMF7 bileşeninde ise Haziran 1996 - Şubat 2001 tarihlerinde meydana gelen şiddetli salınımlar ile sonrasında Mart 2001 - Mayıs 2003 tarihleri arasında görülen düşük şiddetli salınımlar dikkat çekmekle birlikte Ocak 2001 - Haziran 2005 döneminde düzensiz salınımlar gözlenmiştir. Ocak 1991 - Haziran 1996 ve Haziran 2005 - 2011 dönemlerinde ise salınım düzenli niteliklidir. Haziran 1996 - Ocak 2001 döneminde oldukça şiddetli salınım meydana gelmiştir. Bileşenin içerdiği dalgaların dip noktaları ile zirve noktaları detaylı incelendiğinde söz konusu dalgaların dip noktaları ile zirve noktası sırasıyla Haziran 1996 - Şubat 1998 - Mart 1999, Mart 1999 - Nisan 2000 - Şubat 2001, Eylül 1991 - Mart 1992 - Aralık 1992, Aralık 1992 - Kasım 1993 - Ağustos 1994, Ağustos 1994 - Haziran 1995 - Haziran 1996, Haziran 2003 - Şubat 2004 - Temmuz 2005, Temmuz 2005 - Şubat 2006 - Eylül 2006, Eylül 2006 - Aralık 2007 - Ocak 2009 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Ocak 2009 dip noktasında oluşmaya başlayan dalga Aralık 2009 tarihinde zirve noktasına ulaşmış ancak oluşumu tamamlanmamıştır.

IMF8 bileşeni ise ortalaması 361 iş günü olan salınımları ifade etmektedir. Kasım 1995 tarihinden yarısından önce şiddetli salınım gözlenmiştir. Söz konusu salınının dip ve zirve noktası Ağustos 1992 ve Nisan 1994 tarihlerinde gerçekleşmiştir. Yaklaşık 1012 iş günlük ortalamaya sahip olan salınım hareketini içeren IMF9 bileşeninde ise 2003 yılı öncesinde şiddetli bir salınım meydana gelmiştir. Söz konusu salınım hareketinde Aralık 1993 tarihinde dip, Kasım 1997 tarihinde de zirve noktası meydana gelmiştir. IMF10 bileşeni ise ortalaması yaklaşık 3680 iş günü olan salınım hareketini temsil etmektedir. Temmuz 1997 tarihinde dip, Nisan 2004 tarihinde de zirve yapmış olan salınım hareketi genel olarak düzenli bir yapı içermektedir.

Şekil 12: İMKB 100 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model1







3.3.1.2. Model2 Sonuçları

Model2 kullanılarak endekse ait 10 IMF bileşeni tespit edilmiştir. Şekil 13, Model2 kullanılarak elde edilen IMF bileşenlerini içermektedir. Model2 kullanılarak elde edilen IMF seti incelendiğinde, genel olarak tüm IMF bileşenlerinde 1997 - 2002 yılları arasında salınımların şiddetli seyrettiği görülmektedir. Dolayısıyla, söz konusu dönem itibariyle kısa ve uzun dönemli salınım hareketlerini etkileyen dinamiklerin benzer nitelikte olduğu söylenebilir.

IMF1 ve IMF2 oldukça yüksek frekanslı salınımları içermektedir. Ocak 1997 - Ağustos 2002 tarihleri arasında şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. IMF1 bileşeni incelendiğinde Ocak 1997 ve 1997 yılının dördüncü çeyreğinde görülen şiddetli ve ani salınım dikkati çekmektedir. 1998 yılının tümünde salınım genel seviyesi yüksek seyretmiş olup özellikle Kasım 1998 tarihinde şiddetli salınımlar meydana gelmiştir. Aralık 1999 - Mayıs 2000 döneminde ani ve şiddetli salınımlar gözlenmiştir. Kasım 2000 tarihinde meydana gelen ani salınım ve sonrasında 2001 yılının birinci yarısında görülen salınım şiddeti genel seviyesindeki artış da dikkati çekmektedir. Sonraki dönemler incelendiğinde salınım şiddetinin genel olarak düşük seyrettiği ve bazı tarihlerde salınım şiddetinde artışların meydana geldiği görülmektedir. Artışların meydana geldiği söz konusu tarihler ise Kasım 2002, Mart 2003, Ağustos 2007, Ekim 2008, Ocak 2001 olarak tespit edilmiştir.

IMF2 bileşeninde ise salınım şiddeti genel seviyesinin yüksek olduğu dönemler 1997 yılının dördüncü çeyreği, 1998 yılı, Aralık 1999 - Haziran 2000 dönemi olarak tespit edilmiştir. Şiddeti oldukça yüksek ve ani artan salınımlar incelendiğinde ise Ocak 1997, Kasım 1997, Ocak 1998 - Mayıs 1998 - Haziran 1998, Ocak 2000 - Aralık 2000 dönemi, Şubat 2001 - Haziran 2001 dönemi dikkati çekmektedir. 2002 yılı itibariyle salınım şiddeti genel seviyesi düşük seyretmekle birlikte bazı tarihlerde salınım şiddetinde artışlar olduğu görülmektedir. Söz konusu tarihler ise Mart 2001 - Kasım 2001 dönemi, Mart 2003 - Kasım 2003 dönemi, Ekim 2005, Şubat 2006 - Haziran 2006 dönemi, Ocak 2008 - Eylül 2008 dönemi, Ağustos 2009, Mart 2010 - Aralık 2010 dönemi olarak tespit edilmiştir.

IMF3 ve IMF4 bileşenlerinin ortalama periyotları yaklaşık olarak sırasıyla 7 ve 16 iş günü olarak tespit edilmiştir. Salınım yapıları incelendiğinde genel itibariyle birbirleriyle örtüşmekte ve en şiddetli salınımlar genel dinamiklere uygun olarak 1997 - 2002 yıllarında gözlemlenmiştir. IMF3 bileşeni detaylı incelendiğinde ise Kasım 1997 - Temmuz 2001 dönemi, Mart 2000 - Ekim 2000 dönemi, Mart 2001 - Temmuz 2001 dönemlerinde görülen salınım şiddeti seviye artışı dikkati çekmektedir. Söz konusu dönemlerde meydana gelen ani ve şiddetli salınımlar incelendiğinde ise söz konusu salınımların Ocak 1997, 1998 yılının birinci çeyreği ve Aralık 2000 tarihlerinde meydana geldiği görülmektedir. 2002 yılı itibariyle salınım genel seviyesinin düşük seyrettiği görülmektedir. 2002 yılından itibaren salınım şiddetinde görülen yerel artışların meydana geldiği tarihleri ise Ocak 2002, Ekim 2003, Şubat 2004, Şubat 2006, Ocak 2008 - Ekim 2008 dönemi, Kasım 2009, Mayıs 2010, Şubat 2011 olarak tespit edilmiştir.

IMF4 bileşeninde ise Mart 1997 - Ekim 2001 döneminde salınım şiddeti genel seviyesi oldukça yüksektir. Söz konusu dönem ayrıntılı incelendiğinde Şubat 1998 - Eylül 1999 döneminde ve Mart 1997 tarihinde şiddetli salınımların meydana geldiği tespit edilmiştir. En şiddetli dalgalanmalar ise Ekim 1999 - Mayıs 2000 dönemi ile Eylül 2000 - Ekim 2001 tarihlerinde kümelenmiştir. 2002 sonrasında salınım şiddeti genel seviyesi düşük olup Ağustos 2005 - Ocak 2006 dönemi, Ocak 2007 - Ekim 2008 dönemi, Eylül 2009 - Şubat 2010 ve Temmuz 2010 sonrası dönem yerel salınım şiddetinde artış görülen dönemlerdir.

IMF5 bileşeni de genel salınım yapısı itibariyle diğer IMF bileşenlerine benzemekle birlikte ortalama periyodu yaklaşık olarak 35 iş günü olarak hesaplanmıştır. Benzer şiddetli salınımların meydana getirdiği salınım kümeleri dikkati çekmektedir. Eylül 1997 - Ekim 1998 dönemi ve Kasım 1999 - Haziran 2000 dönemi salınım kümelerinin görüldüğü dönemlerdir. Ocak 2001 ve Ekim 2001 dip noktaları arasında meydana gelen ve zirve noktasına Haziran 2001 tarihinde ulaşan dalganın şiddeti oldukça yüksektir. 2002 yılından itibaren salınım şiddeti genel seviyesi oldukça düşük olup Aralık 2005 - Ekim 2006 dönemi ile Eylül 2007 - Mart

2009 tarihlerinde şiddet seviyesinde artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, Aralık 2009 tarihinden itibaren salınım şiddetinde artış eğilimi tespit edilmiştir.

Ortalama periyodu yaklaşık 89 iş günü olan IMF6 bileşeni de Ocak 1996 - Eylül 2002 döneminde şiddetli salınımlar içermektedir. Ocak 1996 - Kasım 1998 döneminde salınım şiddeti genel seviyesi yüksektir. Ekim 1999 - Eylül 2002 döneminde de oldukça şiddetli iki dalga meydana gelmiştir. Ekim 1999 - Ağustos 2000 ve Ağustos 2000 - Eylül 2002 dip noktaları arasında meydana gelen iki dalganın zirve noktaları sırasıyla Şubat 2000 ve Ocak 2001 tarihlerinde gerçekleşmiştir.

IMF7 bileşeninin ortalama periyodu yaklaşık olarak 270 yün olarak tespit edilmiştir. Genel olarak incelendiğinde Temmuz 1998 - Ekim 2003 tarihleri arasında salınım şiddetinin güçlü artış eğilimine sahip olduğu ve şiddetli dalgaların meydana geldiği görülmektedir. Söz konusu dalgaların dip noktaları ile bu noktalar arasında oluşan zirve noktaları sırasıyla: Temmuz 1996 - Şubat 1997 - Ağustos 1997, Ağustos 1997 - Mart 1998 - Kasım 1998, Kasım 1998 - Nisan 1999 - Eylül 1999, Eylül 1999 - Nisan 2000 - Nisan 2001, Nisan 2001 - Eylül 2002 - Ekim 2003 tarihinde gerçekleşmiştir. 2003 yılının sonunda salınım şiddeti ani olarak azalmış ve sonrasında tekrar artış eğilimine girmiştir. Ekim 2003 sonrasında üç dalga meydana gelmiştir. Söz konusu dalgaların dip noktaları ile bu noktalar arasında oluşan zirve noktaları sırasıyla: Ekim 2003 - Aralık 2004 - Haziran 2005, Haziran 2005 - Şubat 2006 - Eylül 2006, Eylül 2006 - Kasım 2007 - Ocak 2009 tarihinde gerçekleşmiştir.

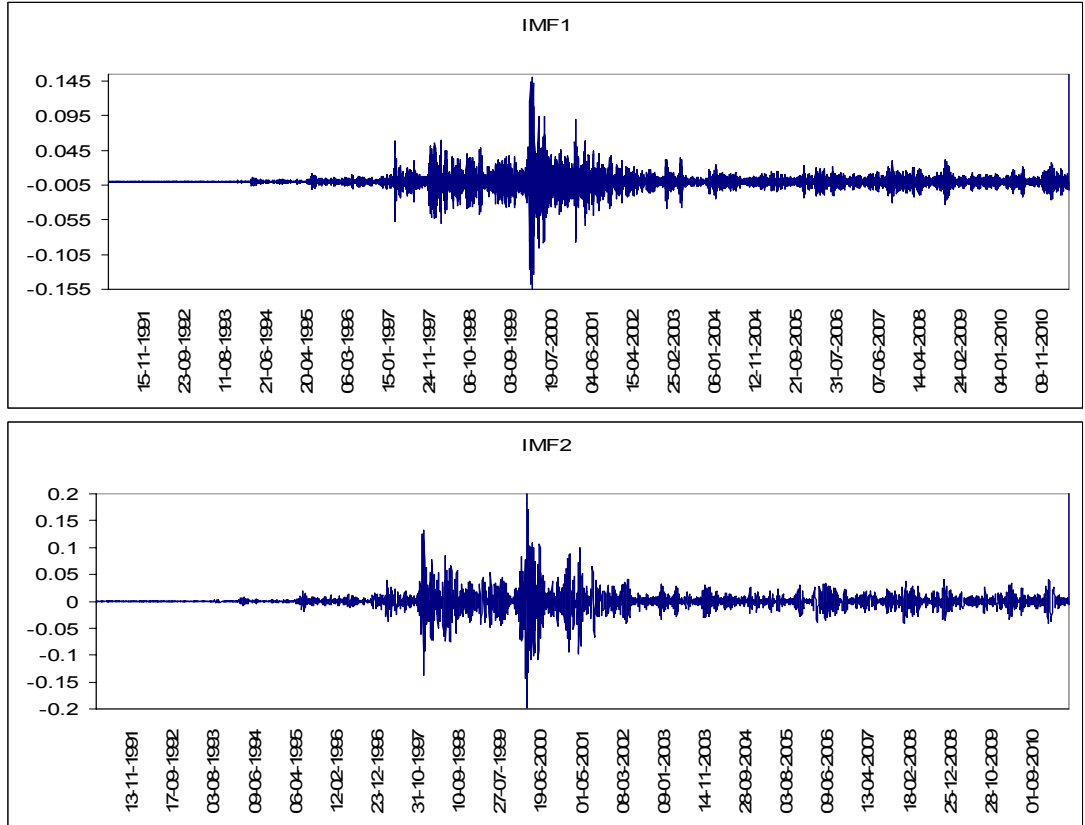
Ortalama periyodu yaklaşık 460 iş günü olarak hesaplanan IMF8 bileşeni incelendiğinde şiddetli salınımın Ocak 1996 - Temmuz 2005 döneminde görüldüğü tespit edilmiştir. Söz konusu dönemde üç şiddetli dalga meydana gelmiş olup bu dalgaların dip noktaları ile bu noktalar arasında oluşan zirve noktaları sırasıyla: Ocak 1996 - Kasım 1997 - Mart 1999, Mart 1999 - Temmuz 2000 - Mayıs 2002, Mayıs 2002 - Mart 2004 - Temmuz 2005 tarihinde gerçekleşmiştir. Şiddeti nispeten daha düşük gerçekleşen dalgaların dip noktalarıyla bu noktalar arasında kalan zirve

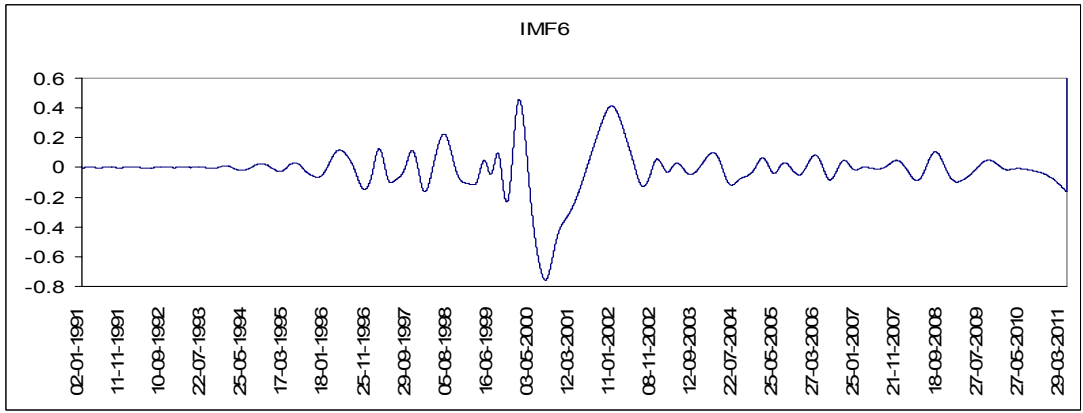
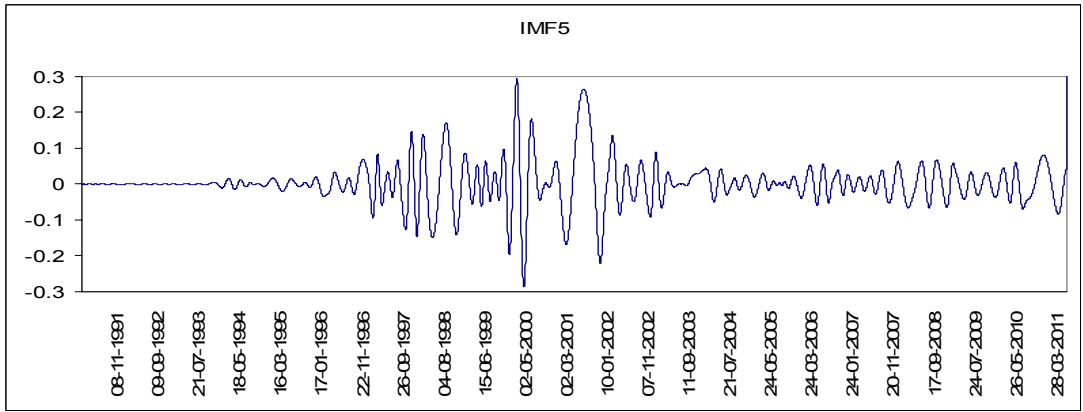
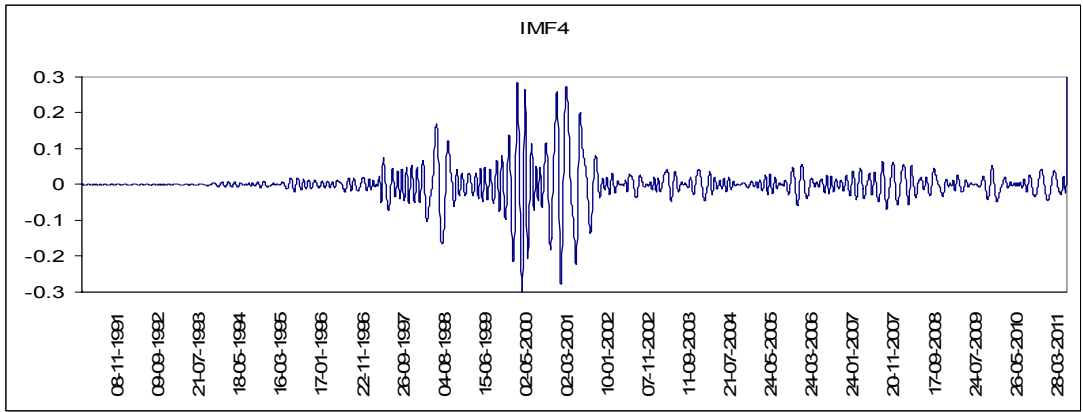
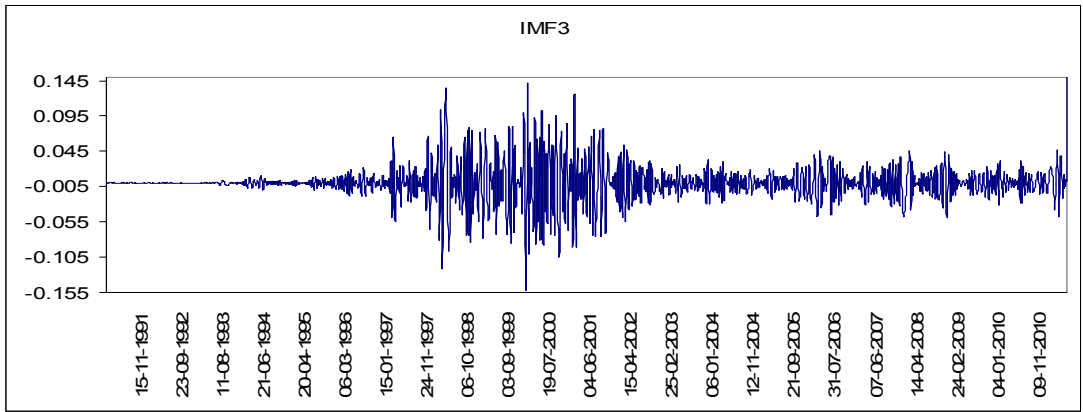
noktalarının tarihleri ise Mayıs 1991 - Aralık 1993 - Ocak 1996, Temmuz 2005 - Temmuz 2006 - Temmuz 2008 olarak tespit edilmiştir.

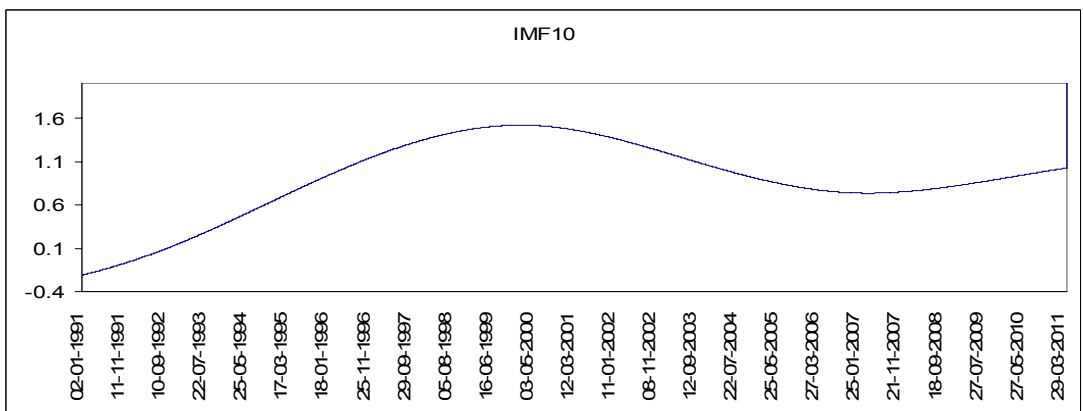
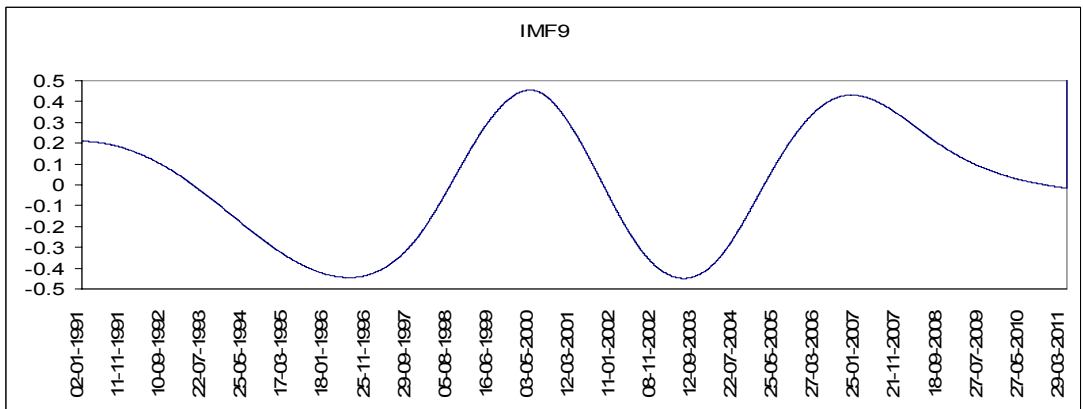
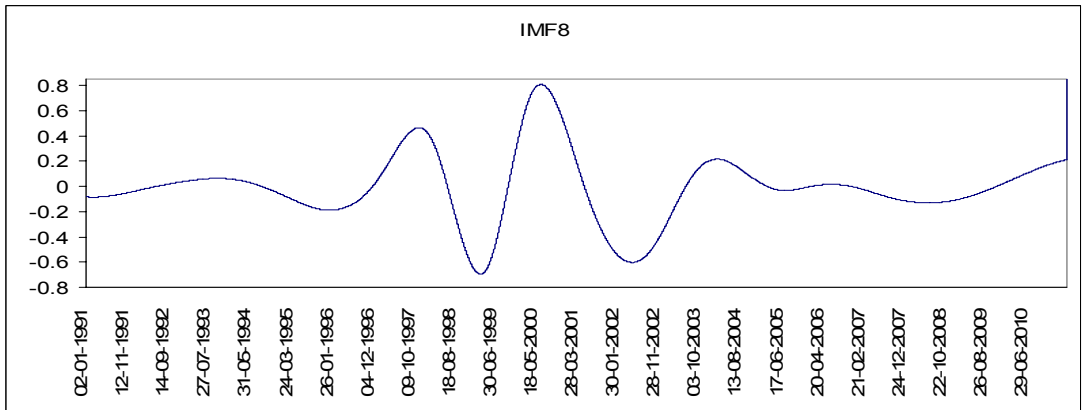
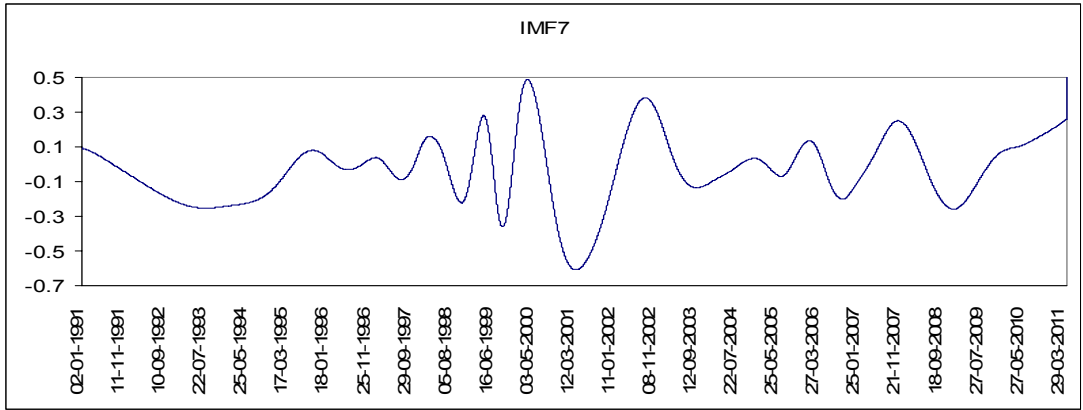
IMF9 bileşeninin ortalama periyodu yaklaşık olarak 1265 iş günü olarak hesaplanmıştır. Düzenli bir salınım olan IMF9 bileşeninin iki dalgadan oluşmaktadır. Temmuz 1996 - Temmuz 2003 dip noktaları arasında meydana gelen ilk dalganın zirve noktası Mayıs 2000 tarihinde gerçekleşirken ikinci ve tamamlanmamış dalga ise oluşumuna Temmuz 2000 tarihinde başlamış ve zirve noktasına Aralık 2006 tarihinde ulaşmıştır. Dalganın oluşum süreci tamamlanmamıştır.

IMF10 ise en uzun dönemli salınımları içermekte ve ortalama periyot yaklaşık 2530 iş günü olmaktadır. 2000 yılının birinci çeyreğinde zirve ve 2007 ikinci çeyreğinde de dip noktaları gözlemlenmiştir.

Şekil 13: İMKB 100 Endeksine İlişkin IMF Seti - Model2



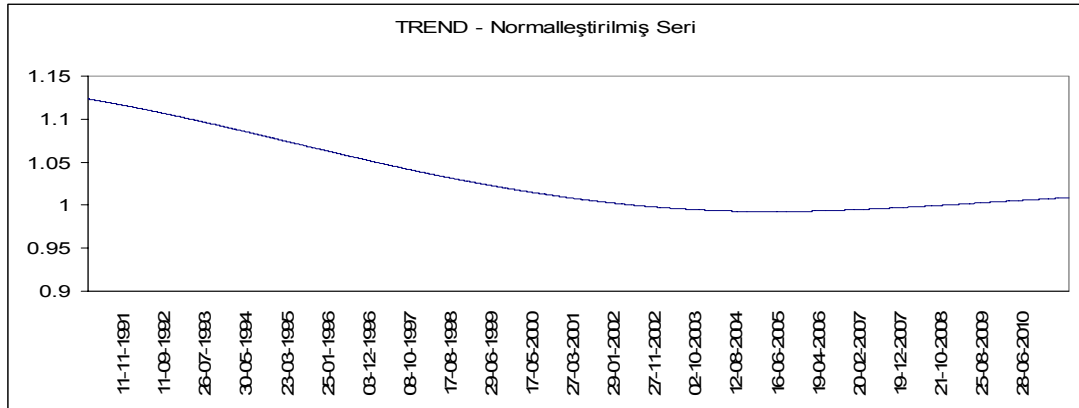


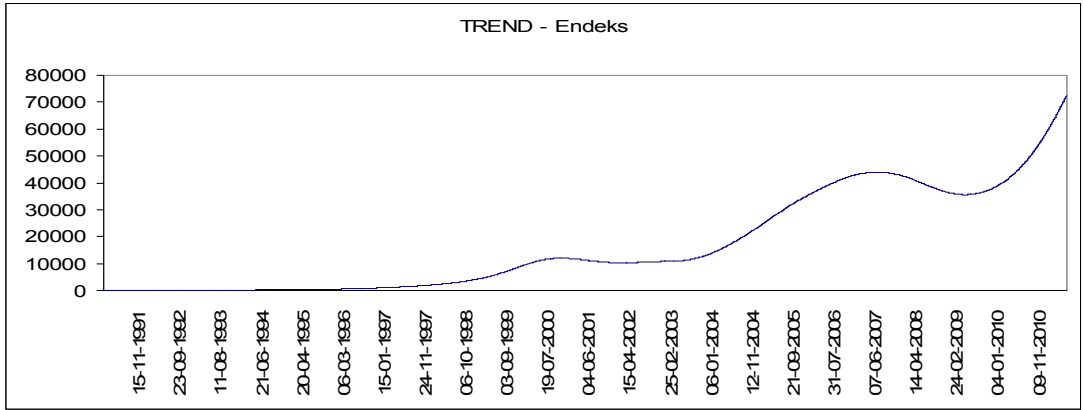


3.3.2. Trend Analiz Sonuçları

Model1 ve Model2 normalleştirme aşamalarını içermektedir. Kullanılan normalleştirme referans eğrisi fiyat serisinin trendini ifade etmektedir. Model1 kullanılarak elde edilen trend bileşeni Şekil 14'te gösterilmiştir. Model1 kullanılarak elde edilen bileşenler incelendiğinde normalleştirilmiş seriye ait trendinin eğiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, normalleştirilmiş serinin trendi serinin genel seviyesindeki değişim olarak ifade edilebilir ve üzere çok düşük küçük artış göstermektedir ve ihmal edilebilir. Fiyat serisine ilişkin Model1 kullanılarak elde edilen trend incelendiğinde, 1996 yılından itibaren nispeten ivmesi artan trend, artış eğilimini 2000 yılı sonlarına kadar sürdürmüştür. Daha sonra meydana gelen azalma eğilimi ise Mayıs 2002 tarihine kadar devam etmiştir. 2000 sonu - 2001 döneminde ekonomide meydana gelen kriz azalışta etkili faktörler arasında sayılabilir. Mayıs 2002 tarihinden sonra trend bileşeninde görülen hızlı artış eğilimi 2007 yılına kadar devam etmiş ve sonrasında Mayıs 2009 yılına kadar görülen azalma ise yerini hızlı bir artışa bırakmıştır. Bu dönemde ABD ekonomisinde meydana gelen resesyona ve kriz etkili olurken Avrupa Birliği'nde görülen ekonomik krizin etkileri tespit edilememiştir.

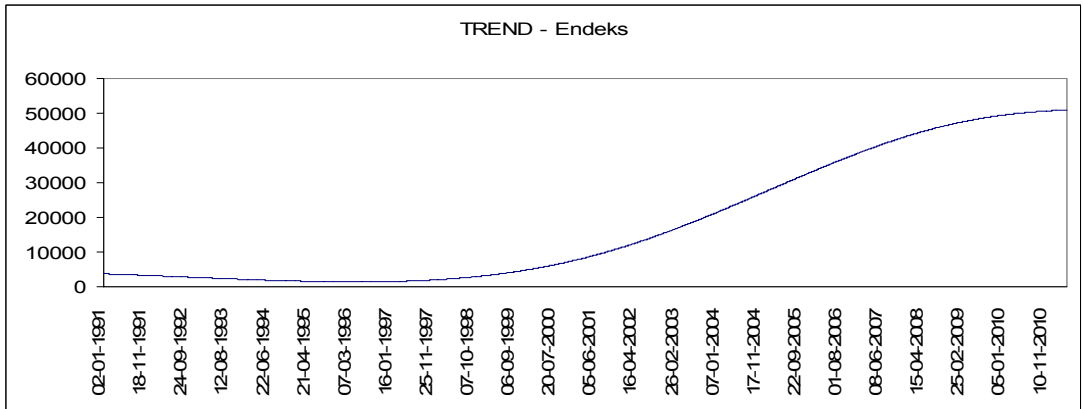
Şekil 14: İMKB 100 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model1





Model2 kullanılması sonucunda normalleştirilmiş veride her hangi bir trend meydana gelmemiştir. Fiyat serisinin normalleştirilmesi için geliştirilen referans eğrisi fiyat serisine ilişkin trendi ifade etmektedir. Model2 kullanılarak elde edilen trend bileşeni Şekil 15'te gösterilmiştir. Trend incelendiğinde; 1997 yılından itibaren endeksin genel olarak bir artış trendine girdiği, 2005 yılı sonlarından itibaren ise trendin ivmesinde düşüş meydana geldiği görülmektedir. 2008 yılından itibaren ivmedeki azalma şiddetlenmiştir. Dolayısıyla, 2006 sonrasında gelişmiş ekonomilerde görülen krizler sonucu ortaya çıkan küresel resesyon korkusu endeksteeki artış eğilimini baskılayan unsurların başında gelebilir.

Şekil 15: İMKB 100 Endeksine İlişkin Trend bileşeni - Model2



3.3.3. Genel Spektral Analiz Sonuçları

Bu bölümde Spektrum teknik sonuçlarına ilişkin genel değerlendirmeler yer almaktadır. Spektruma ilişkin detaylı teknik sonuçlar ise bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Spektrumlar genel olarak incelendiğinde nispeten sabit ve düşük frekansa sahip dalgalanmaların yanında frekans değeri oldukça dalgalanan yüksek frekanslı bileşenler gözlenmiştir. Söz konusu frekans dalgalanmaları bileşenin doğrusal olmaması nedeniyle meydana gelmiştir. Zamana bağlı olarak değişen frekans ve enerji dalgalanmalarının detaylı analiz edilmesi, endeksi oluşturan bileşenlerin sahip olduğu özelliklerin anlaşılması açısından önemlidir. Dolayısıyla, bir sonraki bölümde bileşenlere ilişkin spektrumlar detaylı olarak incelenmiştir.

İMKB 100 Endeksine ilişkin tüm bileşenlerin kullanılmasıyla elde edilen genel spektrumlar Şekil 16'da yer almaktadır.

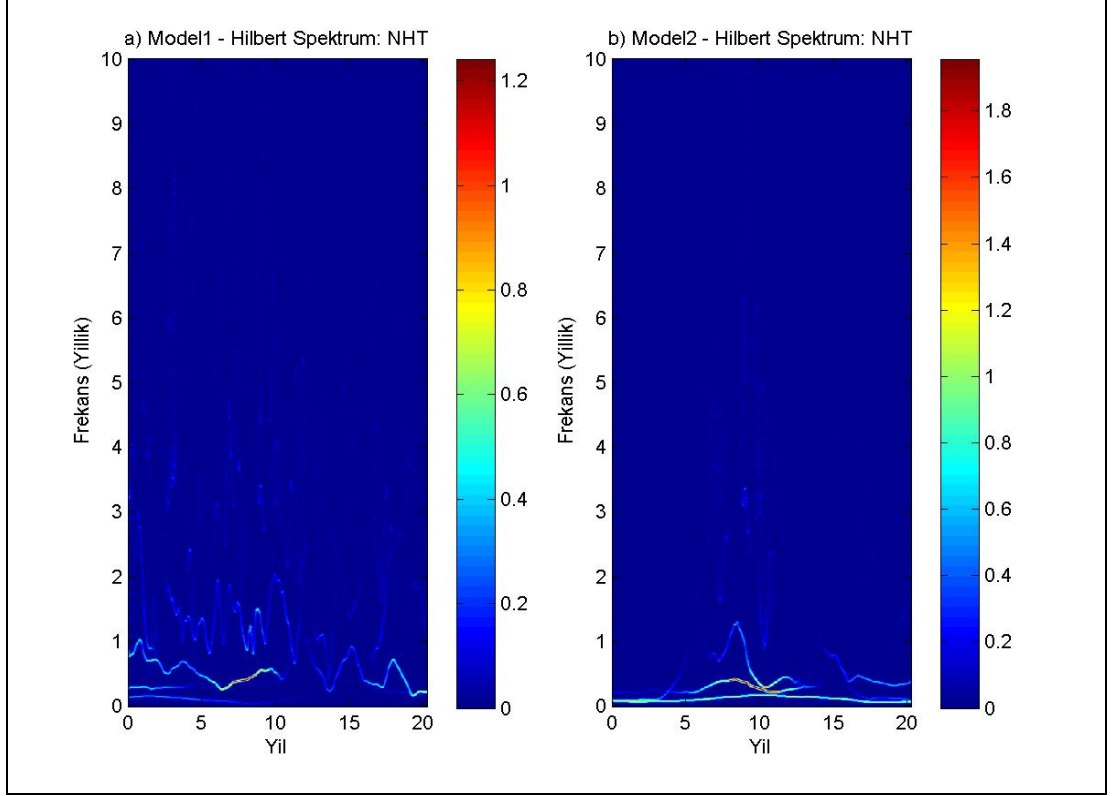
Model1 kullanılarak elde edilen bileşenlere ilişkin spektrum incelendiğinde düşük frekansa sahip enerji seviyesi yüksek salınım hareketinin varlığına ilişkin bulgu elde edilmiştir. Ayrıca normalleştirme işleminin sonucu olarak 2000 yılından önceki dönemde meydana gelen enerji ve frekans değişimleri daha net olarak gözlenebilmektedir. Normalleştirme 1990'lı yıllarda piyasada görülen ekonomik faktörler ile finansal şokların etkisiyle meydana gelen değişimlerin trend bileşeni tarafından baskılanmasını ortadan kaldırarak söz konusu dönemdeki salınımları daha net hale getirmiştir. Özellikle 1997 - 2000 döneminde enerji seviyesi yüksek düşük frekansa sahip salınım dikkati çekmektedir. Diğer modellere ek olarak; Asya, Rusya, Brezilya krizleri ile ABD finans piyasalarında 1997 yılında meydana gelen dalgalanma enerji seviyesini etkileyen faktörler arasında gösterilebilir. Genel olarak frekans seviyesi ortalama olarak yaklaşık 0,38 salınım/yıl olan salınım hareketinin meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla, 658 iş günü periyoda sahip dalgalanmaya ilişkin bulgu elde edilmiştir. Enerji yapısında dikkat çeken diğer bir özellik ise yüksek frekansa sahip enerji dalgalanmalarıdır. Finansal piyasalarda genel ekonomik koşullara ek olarak kısa dönemli fiyat hareketlerinden kaynaklandığı düşünülen bu tür enerji ve frekans değişimlerinin detaylı olarak incelenmesi

gerekmektedir. Frekans genel olarak birim zamanda fiyat endeksinde meydana gelen değişimi ifade eder. Bu bağlamda frekans endeksin sahip olduğu değişim "hızı" olarak yorumlanabilir. Enerji ise endekste meydana gelen değişimin "şiddeti" olarak tanımlanabilir. Frekans ve enerjinin analizi, endeksin gösterdiği değişimlerin daha net tespit edilerek detaylı analizini mümkün kılmaktadır. Özellikle bileşenin sahip olduğu frekans aralığı ile en sık görülen frekans değerleri, bileşenin temel karakteristik özelliklerini gösterdiği için tanımlayıcı istatistik olarak kullanılabilir. Frekans verilerinin tümü genel olarak incelendiğinde yüksek enerjiye sahip salınımlara ait frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,15 - 0,70 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 357 - 1667 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,40 salınım/yıl, 0,29 salınım/yıl ve 0,55 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 625 işgünü, 862 işgünü ve 455 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Model2 kullanılarak elde edilen bileşenlere ilişkin spektrum incelendiğinde düşük frekansa sahip salınım hareketinin varlığına ilişkin bulgu elde edilmiştir. Ayrıca normalleştirme işleminin sonucu olarak 2000 yılından önceki dönemde meydana gelen enerji ve frekans değişimleri daha net olarak gözlenebilmektedir. Normalleştirme 1990'lı yıllarda piyasada görülen ekonomik faktörler ile finansal şokların etkisiyle meydana gelen değişimlerin trend bileşeni tarafından baskılanmasını ortadan kaldırarak söz konusu dönemdeki salınımları daha net hale getirmiştir. 2008 yılında kendini hissettiren Küresel finansal kriz ve özellikle sonrasında AB ekonomisini tehdit eden borç krizi enerji seviyesini etkileyen faktörler arasında sayılabilir. Spektrumun detaylı incelenmesi sonucunda 1997 - 2002 döneminde spektrumda önemli değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu dönemde yüksek frekanslı bileşenlerde şiddetli dalgalanma ile düşük frekanslı bileşenlerde şiddetli enerji artışı gözlenmiştir. Bilindiği üzere 1997 - 2002 yılında Dünya ve Türkiye ekonomisinde önemli krizler meydana gelmiştir. Asya, Rusya, Brezilya krizlerinin yanında ABD piyasalarında görülen krizler ve ABD ve AB ekonomilerinde görülen resesyon küresel çapta finansal dalgalanmalar meydana

getirmiştir. Ayrıca Türkiye ekonomisinin kendi dinamiklerinden kaynaklanan ve 200'li yılların başında meydana gelen krizler de endeksi etkileyen diğer önemli faktörler arasında gösterilebilir. Genel olarak 0,20 salınım/yıl frekans değerine sahip salınım tespit edilmiştir. Dolayısıyla, 1250 işgünü periyoda sahip dalgalanmaya ilişkin bulgu elde edilmiştir. Frekans genel olarak birim zamanda fiyat endeksinde meydana gelen değişimi ifade eder. Bu bağlamda frekans endeksin sahip olduğu değişim "hızı" olarak yorumlanabilir. Enerji ise endekste meydana gelen değişimin "şiddeti" olarak tanımlanabilir. Frekans ve enerjinin analizi, endeksin gösterdiği değişimlerin daha net tespit edilerek detaylı analizini mümkün kılmaktadır. Özellikle bileşenin sahip olduğu frekans aralığı ile en sık görülen frekans değerleri, bileşenin temel karakteristik özelliklerini gösterdiği için tanımlayıcı istatistik olarak kullanılabilir. Frekans verilerinin tümü genel olarak incelendiğinde yüksek enerjiye sahip salınımlara ait frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,10 - 0,50 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla, dalgaların periyotları yaklaşık 500 - 2500 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,08 salınım/yıl, 0,17 salınım/yıl ve 0,14 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1471 işgünü, 1786 işgünü ve 8333 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Şekil 16: İMKB 100 Endeksine İlişkin Genel Spektrum Sonuçları - Tüm Modeller



Spektrumlar genel olarak incelendiğinde nispeten sabit ve düşük frekansa sahip dalgalanmaların yanında frekans değeri oldukça dalgalanan yüksek frekanslı bileşenler gözlenmiştir. Söz konusu frekans dalgalanmaları bileşenin doğrusal olmaması nedeniyle meydana gelmiştir. Zamana bağlı olarak değişen frekans ve enerji dalgalanmalarının detaylı analiz edilmesi, endeksi oluşturan bileşenlerin sahip olduğu özelliklerin anlaşılması açısından önemlidir. Dolayısıyla, bir sonraki bölümde bileşenlere ilişkin spektrumlar detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.4. Detaylı Spektral Analiz Sonuçları

Bu bölümde Spektrum sonuçlarının detaylı teknik analizi gerçekleştirilmiştir. Spektrum sonuçları incelendiğinde Hilbert ve DQ sonuçlarının birbirleriyle örtüştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla sadece Hilbert spektrum sonuçları bu bölümde ifade edilmiştir. GZC spektrumu ise özellikle düşük frekanslı bileşenlerin yorumlanmasında ve tüm bileşenlerin genel eğilimlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. GZC yöntemi; dalgaların üç ve sıfır-geçiş noktalarının kombinasyonlarını kullanmaktadır; dolayısıyla tek bir dalga içeren salınımlarda GZC yönteminin kullanılabilmesi için yeterli koordinat bulunamamakta; dolayısıyla spektrum hesaplanamamaktadır. Bununla birlikte söz konusu bileşenlerde frekans çok düşük düzeyde gerçekleştiği için NHT ve DQ spektrumları sabit ve sıfır değerine çok yakın olarak hesaplanmıştır. DQ ve GZC spektrumlarına ilişkin şekillere çalışmanın ek bölümünde yer verilmiştir.

3.3.4.1. Model1 Sonuçları

Şekil 17, İMKB 100 endeksine ilişkin Model1 kullanılarak elde edilen NHT spektrum sonuçlarını göstermektedir. IMF1 bileşeni ele alındığında bileşen enerjisinin normalleştirme süreci sonunda oldukça düştüğü görülmektedir. Ayrıca, frekans enerjisi; zamana bağlı olarak homojen dağıldığı söylenebilir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 20 - 120 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 2 - 12,5 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 44,64 salınım/yıl, 66,77 salınım/yıl ve 46,59 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 5,60 işgünü, 3,74 işgünü ve 5,36 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

1999 yılı başı, 1995 yılı birinci çeyrek, 1997 yılı başı, 1999 yılı sonu, 2000 yılı sonu ve 2008 yılı üçüncü çeyrek dönemlerinde enerji seviyesi yüksek dalgalar gözlenmiştir. 2003 yılı başından itibaren salınım enerjisi genel seviyesi düşük

seyretmiştir. GZC ve QUAD yöntemleriyle elde edilen spektrumlar da benzer sonuçlar ifade etmektedir.

IMF2 bileşeni de IMF1 benzer yapı göstermekle birlikte EMD yönteminin doğasına uygun olarak frekans düzeyi daha düşük olmaktadır. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 11 - 42 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 5,95 - 22,73 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 22,06 salınım/yıl, 30,68 salınım/yıl ve 24,66 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 11,33 işgünü, 8,15 işgünü ve 10,14 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Bileşende 2000 yılına kadar 15 - 45 frekans bandında ve yüksek enerji genel seviyesine sahip salınımların olduğunu tespit etmiştir. 1991 yılı üçüncü çeyrek, 1994 ve 1997 yılı başları, 1998 yılı dördüncü çeyrek, 1999 yılı sonu, 2001 yılı birinci çeyrek ve 2009 yılı sonunda yüksek enerji tespit edilmiştir.

IMF3 bileşeni de IMF2 bileşenine benzer biçimde daha homojen frekans yapısına sahiptir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 4 - 22,76 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 10,98 - 62,5 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 7,92 salınım/yıl, 8,12 salınım/yıl ve 6,11 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 31,57 işgünü, 30,79 işgünü ve 40,92 işgünü ortalama periyoda sahiptir. 1994 ve 1998 yılında en yüksek enerjiye sahip dalgalanmalar görülmüştür. Özellikle 1994 yılı birinci çeyrek ve 1998 yılı başında yüksek enerjiye sahip dalgalar tespit edilmiştir. 2002 yılı birinci çeyrekte itibaren enerji genel seviyesinde düşüş meydana gelmiştir.

IMF4 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 1 - 11 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 22,73 - 250 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 4,45 salınım/yıl, 3,94 salınım/yıl ve 4,13 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 56,18 işgünü, 63,45 işgünü ve 60,53 işgünü ortalama periyoda sahiptir. 1991 yılı, 1994 yılı ikinci çeyrek ve 2002 yılı sonunda frekans yüksek seyretmiştir.

Enerji yapısı detaylı incelendiğinde; 1992 yılı ikinci çeyrek, 1993 yılı dördüncü çeyrek, 1994 başı, 1995 birinci çeyrek, 1997 yılı başı, 1999 sonu - 2001 başı, 2000 yılı, 2003 yılı üçüncü çeyrek, 2005 yılı üçüncü çeyrek ve 2007 yılı sonunda yüksek enerjiye sahip dalgalar tespit edilmiştir.

IMF5 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,3 - 4,67 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 53,53 - 833,33 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 3,2 salınım/yıl, 3,4 salınım/yıl ve 3,13 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 78,13 işgünü, 73,53 işgünü ve 79,87 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Frekans zirveleri incelendiğinde 1991 üçüncü çeyrek, 1993 ikinci çeyrek, 1994 dördüncü çeyrek, 1999 yılı başı, 2004 yılı ortası ve 2008 üçüncü çeyrekte frekans zirvelerinin oluştuğu görülmüştür.

Frekans - enerji yapısı detaylı incelendiğinde ise 2003 yılı birinci çeyrekte itibaren salınım enerjisi genel seviyesinin önceki döneme göre düşük olduğu görülmektedir. 1991 yılı başı, 1993 ikinci çeyrek - 1994 başı arasında kalan dönem, 1995 yılının birinci çeyreği, 1997 yılı başı ve dördüncü çeyreği, 1998 yılının başı ve ortaları, 1999 yılı sonu, 2001 yılı başı, 2002 yılının başı ve ortaları ile 2008 yılının birinci yarısında enerji seviyesi yüksek dalgalar gözlenmiştir.

IMF6 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,66 - 1,94 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 128,87 - 378,79 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,89 salınım/yıl, 1,5 salınım/yıl ve 1,1 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 280,90 işgünü, 166,67 işgünü ve 227,27 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

IMF6, sahip olduğu şiddetli doğrusal olmayan dinamik nedeniyle frekans değerleri dalgalanmaktadır. Genel olarak incelendiğinde 1993 üçüncü çeyrek - 2002 ikinci çeyrek döneminde salınım enerjisi genel seviyesi yüksek olup özellikle 1999 yılında enerji oldukça yüksektir. Ayrıca, 1992 yılının ikinci çeyrek, 2004 yılı başı ve 2008 yılında enerji nispeten yüksektir. 1991 üçüncü çeyrek, 1993 birinci çeyrek, 2003 yılı başı, 2005 birinci çeyrek ve 2008 yılında frekans zirveleri tespit edilmiştir ancak söz konusu dalgaların enerjisi nispeten düşüktür.

IMF7 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,16 - 0,88 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 284,09 - 1562,5 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,40 salınım/yıl, 0,54 salınım/yıl ve 0,38 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 625 işgünü, 462,96 işgünü ve 657,89 işgünü ortalama periyoda sahiptir. Özellikle 2001 yılı sonrasında frekans değerleri dalgalanmıştır. Söz konusu dalgalanmalar 2004 - 2007 ile 2008 - 2010 dönemlerinde meydana gelmiştir, ancak salınım enerjisi dikkate alındığında 2008 frekans zirvesinden itibaren dalgalanma şiddeti artma eğilimi göstermiştir.

1997 - 2000 arasında yüksek enerjiye sahip dalgalanmalar tespit etmiştir. Özellikle, 1998 yılının ikinci yarısı ile 2000 yılının birinci yarısında şiddetli

dalgalanmalar gözlenmiştir. Enerji ve frekans yapısı detaylı incelendiğinde; 2001 birinci çeyrek - 2006 sonu arasında kalan dönemde diğer dönemlere göre enerjinin daha düşük seyrettiği görülmekle birlikte özellikle 2003 ve 2006 yılı başlarında frekans zirveleri görülmüştür. Bileşendeki diğer frekans zirveleri ise 1991 yılı dördüncü çeyrek ve 2008 yılı sonunda meydana gelmiştir. Bileşenin enerjisi 1997 ikinci çeyrek - 2000 ikinci çeyrek arasında kalan dönemde yüksek seyretmiş olup söz konusu dönemde en yüksek enerji 1998 başı - 1999 üçüncü çeyrek arasında kalan dönemde meydana gelmiştir.

IMF8 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,18 - 0,35 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 250,35 - 1388,89 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin 0,28 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü 892,85 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

1991 - 1994 dördüncü çeyrek döneminde yüksek enerjiye sahip salınım tespit edilmiştir. 2000 - 2006 arasında görülen frekans dalgalanmasının enerji düzeyi ise düşüktür. 2000 yılının ortalarına kadar frekans 0,3 salınım/yıl civarında gerçekleşmiştir. Sonrasında ise frekans değerlerinde dalgalanmalar meydana gelmiştir. 2000 yılının ikinci yarısından itibaren frekans hızlı biçimde yükselerek 2002 ikinci çeyrek - 2003 birinci çeyrek döneminde zirve yapmıştır. Dolayısıyla, bu dönemde dalgalanmalar sıklaşmıştır. Sonrası dönemde ise frekansta düşüş eğilimi görülmüştür. Ancak dalgalanma enerjisi açısından ele alındığında ise 1995 yılından sonraki dönemde dalgalanma enerjisi, 1991 - 1994 dönemine oranla oldukça düşüktür.

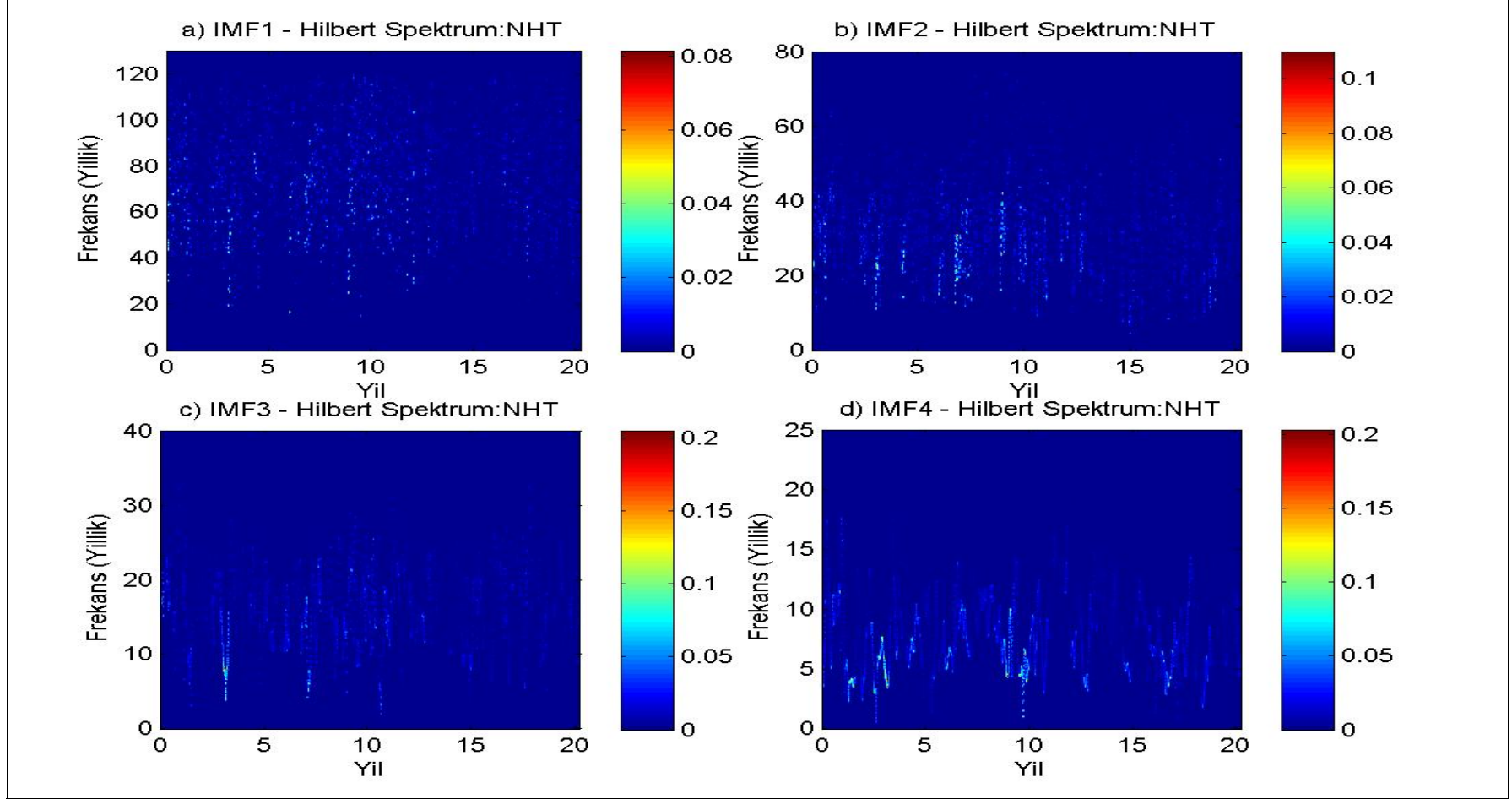
IMF9 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,04 - 0,16 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 1562,50 - 6250 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,15 salınım/yıl, 0,13 salınım/yıl ve 0,09

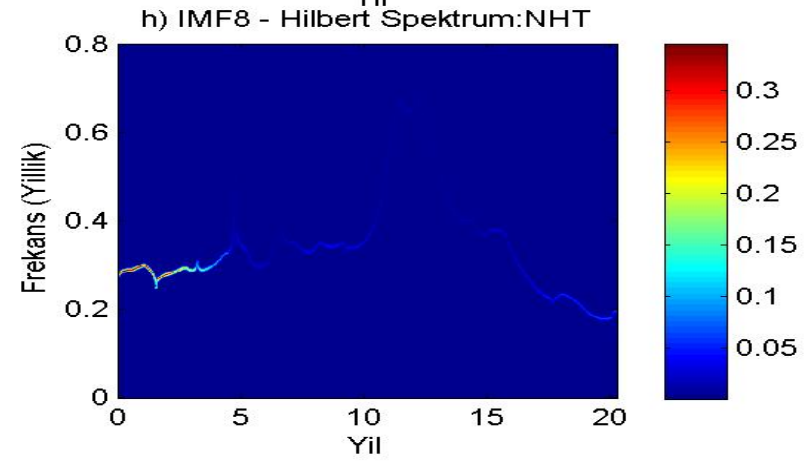
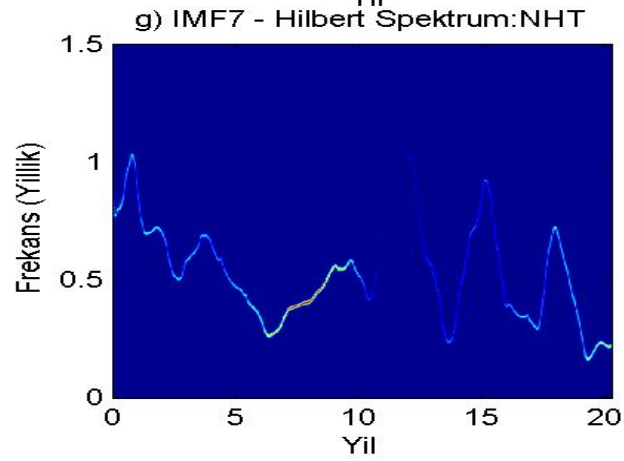
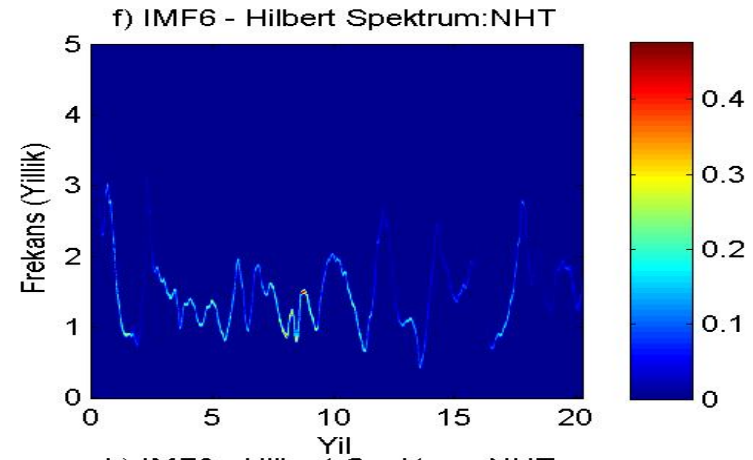
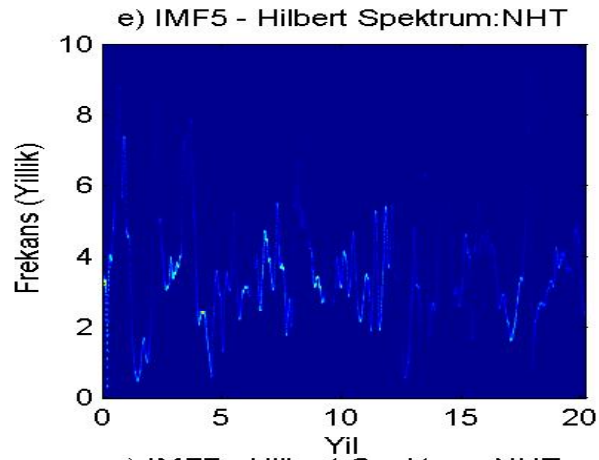
salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1666,67 işgünü, 1923,08 işgünü ve 2777,78 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

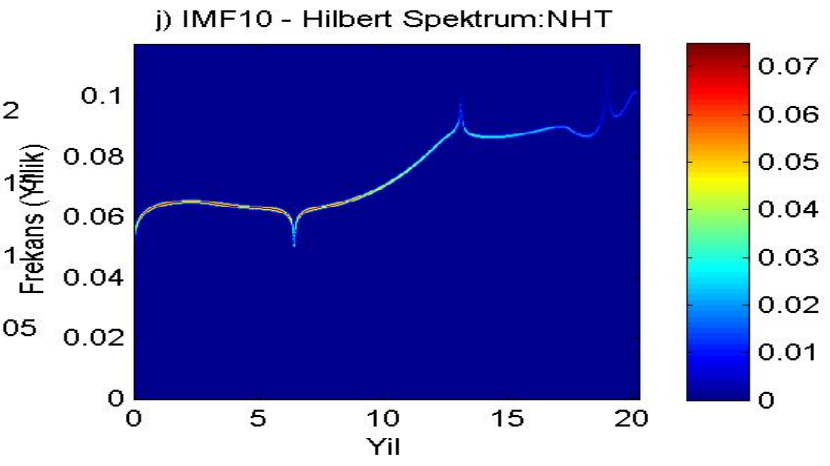
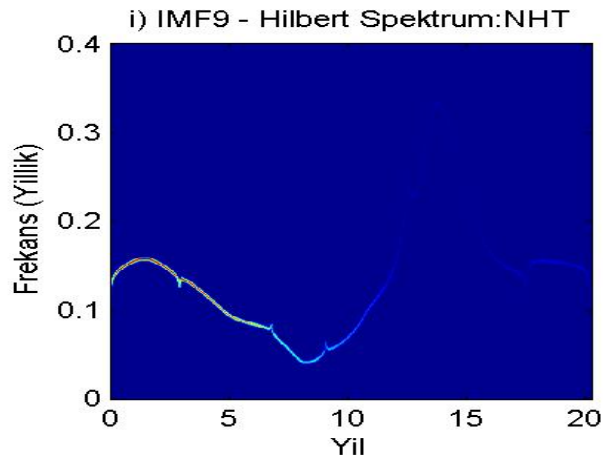
IMF9 bileşeni, IMF8 bileşenine benzer bir yapı göstermektedir. 1991 - 1999 yılları arasında düşük frekans - yüksek enerji bileşenlerine sahip dalgalanma görülürken sonraki dönemde ise frekans dalgalanırken bileşen enerjisi oldukça düşmüştür. Dolayısıyla, salınım 1991 - 1999 yıllarında titreşimi az ama ivmesi yüksek (genel seviyede meydana gelen kayma hareketine benzer) bir hareketi temsil etmektedir. Özellikle 1997 dördüncü çeyreğe kadar salınım şiddeti oldukça yüksektir. 1999 yılından sonra artan frekans 2004 dördüncü çeyrekte zirve yapmıştır. İkinci alt periyotta ise titreşim hareketi özelliği göstermektedir. Salınım şiddeti düşük ama frekansın oldukça hızlı yükseldiği dönem ise 1999 - 2004 sonu arasında gözlemlenmiştir.

IMF10 bileşeni incelendiğinde enerji seviyesinin genel bir azalış eğilimine sahip olduğu görülmektedir. 1999 sonuna kadar olan dönemde enerji genel seviyesi yüksektir. Frekans değerleri 0,05 - 0,10 salınım/yıl aralığında yer almakla birlikte frekans değerlerindeki artış eğilimi dikkati çekmektedir. Dalgaların periyotları ise yaklaşık olarak 2500 - 5000 iş günü aralığında yer almaktadır.

Şekil 17: İMKB 100 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model1







3.3.4.2. Model2 Sonuçları

Şekil 18, İMKB 100 endeksine ilişkin Model2 kullanılarak elde edilen NHT spektrum sonuçlarını göstermektedir. IMF1 bileşeninin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 20 - 120 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 2 - 12,5 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 31,93 salınım/yıl, 68,75 salınım/yıl ve 92,53 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 7,83 işgünü, 3,64 işgünü ve 2,70 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Salınım enerjisi bakımından incelendiğinde ise 1999 yılı sonu - 2001 yılı başlarında en yüksek enerjiye sahip salınım hareketi gözlenmiştir. 1997 dördüncü çeyrek - 2001 birinci çeyrek arasındaki dönemde enerji genel seviyesi yüksek seyretmiştir. Frekans - enerji yapısı detaylı incelendiğinde 1997, 1999 ve 2000 yıllarının sonunda enerji değeri yüksek dalgalar tespit edilmiştir. Genel itibariyle GZC ve QUAD yöntemleri de benzer frekans değerlerini göstermektedir.

IMF2 ye ilişkin spektrum değerleri de, IMF1'in spektrumlarıyla benzer frekans yapısına işaret etmektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 10 - 50 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 5 - 25 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 41,50 salınım/yıl, 31,35 salınım/yıl ve 25,94 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 6,02 işgünü, 7,97 işgünü ve 9,64 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Salınım enerjisi incelendiğinde; yüksek enerjili salınımlar ise 1997 ikinci çeyrek - 2001 ikinci çeyrek arasında kalan dönemde görülmektedir ve söz konusu dönemde salınım enerjisi genel seviyesi yüksek seyretmiştir. 1997 yılı dördüncü

çeyrek, 1998 yılı ikinci çeyrek, 1999 yılı sonu, 2001 yılı başı ve 2001 yılı ikinci çeyrekte enerjisi yüksek dalgalar tespit edilmiştir.

IMF3 bileşenine ilişkin frekans değerleri de kesikli ve dağınık bir yapı göstermektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 4 - 27 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 9,26 - 62,5 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 9,69 salınım/yıl, 5,52 salınım/yıl ve 7,44 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 25,80 işgünü, 45,29 işgünü ve 33,60 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Salınım enerjisi bakımından spektrum incelendiğinde 1997 dördüncü çeyrek - 2001 birinci çeyrek arasındaki dönemde salınım enerjisi genel seviyesi yüksek seyretmiştir. Ayrıca, 1998 yılı birinci çeyrek, 1998 yılı ortaları, 1999 yılı sonu, 2000 yılı başı ve sonu, 2001 birinci çeyrekte en yüksek enerjiye sahip dalgalar görülmüştür.

IMF4 bileşenine ilişkin frekans yapısı incelendiğinde frekans değişimleri net olarak görülebilmektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 1,3 - 10,13 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 24,68 - 192,31 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 3,26 salınım/yıl, 4,96 salınım/yıl ve 5,51 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 76,69 işgünü, 50,40 işgünü ve 45,37 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

Frekans değişimi şiddetli doğrusal olmayan dinamiklerden kaynaklanmaktadır. Bu durum salınımın sabit bir frekansa sahip olmasını engeller. Salınım frekansındaki dalgalanmaların yüksek olması doğrusal olmayan dinamiklerin etkinliğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle 2000 yılının başı ve sonunda, 2001

yılıının ilk yarısında en şiddetli salınım görülmüştür. Salınım enerjisi ile salınım frekansları dikkate alındığında; 1998 ikinci çeyrek, 1998 sonu - 2000 yılı başı arasında kalan dönem ile 2000 üçüncü çeyrek - 2001 birinci çeyrek arasında kalan dönemde en yüksek enerjiye sahip dalgalar gözlenmiştir.

IMF5 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,97 - 4,76 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 52,52 - 257,73 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 3,35 salınım/yıl, 1,65 salınım/yıl ve 3,10 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 74,63 işgünü, 151,52 işgünü ve 80,64 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

1999 sonu ile 2001 sonu arasındaki dönemde frekans ve enerji düzeyinde hızlı değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 2000 ve 2001 yıllarının ilk aylarında yüksek enerjili salınımlar meydana gelmiştir. Ayrıca, 1997 - 1998 döneminde de salınımda şiddetli değişimler meydana gelmiştir. 1997 yılında yüksek frekanslı ama düşük enerjili bir salınım meydana gelirken 1998 yılında ise görece olarak yüksek enerjiye sahip ama frekansı daha düşük salınım meydana gelmiştir. Söz konusu iki dönemde sırasıyla titreşim ve dalga boyu nispeten yüksek dalgalanma benzeri salınımlar gözlenmiştir. Dolayısıyla, spektral analiz sonucunda yukarıda belirtilen iki dönemde bileşende önemli değişiklikler meydana gelmiş denebilir. Detaylı olarak salınım enerjisi incelendiğinde ise; 1997 dördüncü çeyrek, 1998 ikinci çeyrek, 1999 sonu - 2000 birinci çeyrek dönemi, 2001 birinci çeyrek dönemlerinde en yüksek enerjiye sahip dalgalanmalar gözlemlenmektedir. 1997 başı ve 1998 yılı ortalarında ise frekans zirveleri gözlenmiştir. GZC ve QUAD yöntemleri de benzer sonuçları göstermekle birlikte 1999 - 2001 dönemindeki yüksek enerjili dalgalanmaları daha net olarak göstermektedir.

IMF6 bileşenine ilişkin Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,10 - 1,29 salınım/yıl aralığında yer aldığı

görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 52,52 - 257,73 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 3,35 salınım/yıl, 1,65 salınım/yıl ve 3,10 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 74,63 işgünü, 151,52 işgünü ve 80,64 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

IMF6 bileşenine ilişkin spektral analiz sonucunda 1993 sonu ile 1994 yılının birinci çeyreği arasında kalan dönemde yüksek enerjiye sahip salınımlar olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, 1998 yılının ikinci çeyreği de oldukça yüksek enerjiye sahip salınımlar meydana gelmiştir. 2000 yılının dördüncü çeyreğinde ise enerji ve frekans değerlerinin yüksek olması dikkat çekicidir. 2001 yılının ikinci yarısı ile 2002 sonuna kadar olan dönem ile 2008 yılının ikinci yarısında yüksek enerjiye sahip salınımlar meydana gelmiştir. 1993 sonları - 1994 yılında yüksek enerjiye sahip salınımlar gözlemlenmektedir. Ayrıca 1998 yılı ve 1999 sonlarında da yüksek enerjiye sahip dalgalanmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, 2001 yılı başından itibaren görülmeye başlayan yüksek enerjili dalgalanmalar 2003 yılı sonuna kadar devam etmiştir.

IMF7 bileşenine ait spektrum ise yüksek derecede frekans dalgalanması göstermektedir. Frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,08 - 1,29 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 193,80 - 3125 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,09 salınım/yıl, 0,29 salınım/yıl ve 0,31 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 2777,78 işgünü, 862,07 işgünü ve 806,45 işgünü ortalama periyoda sahiptir. 1997 yılı başları, 1998 yılı ortaları ve 20004 yılı sonlarında ise frekans zirveleri görülmektedir.

1997 - 2003 yılları arasında frekans dalgalanırken salınım enerjisi artma eğilimi göstermiştir. 2001 yılında yüksek enerjiye sahip salınım meydana gelmiştir.

Genel olarak ifade etmek gerekirse, 1994 - 2001 döneminde yüksek frekans değişimleri; 2001 - 2003 yılı ortalarına kadar yüksek enerjiye sahip dalgalanmalar, 2004 - 2007 arasında da yine yüksek frekans değişimleri yaşanmıştır. Frekans ve salınım enerjisindeki değişimler detaylı incelendiğinde; 1995 - 1999 arasında kalan dönem ile 2003 üçüncü çeyrek - 2007 başı arasında kalan dönemde enerji seviyesinin çok düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, 1991 - 1993 üçüncü çeyrek arasında kalan dönem, 2000 üçüncü çeyrek - 2002 üçüncü çeyrek dönemi ve 2008 yılından sonraki dönemde enerji seviyesi yüksektir.

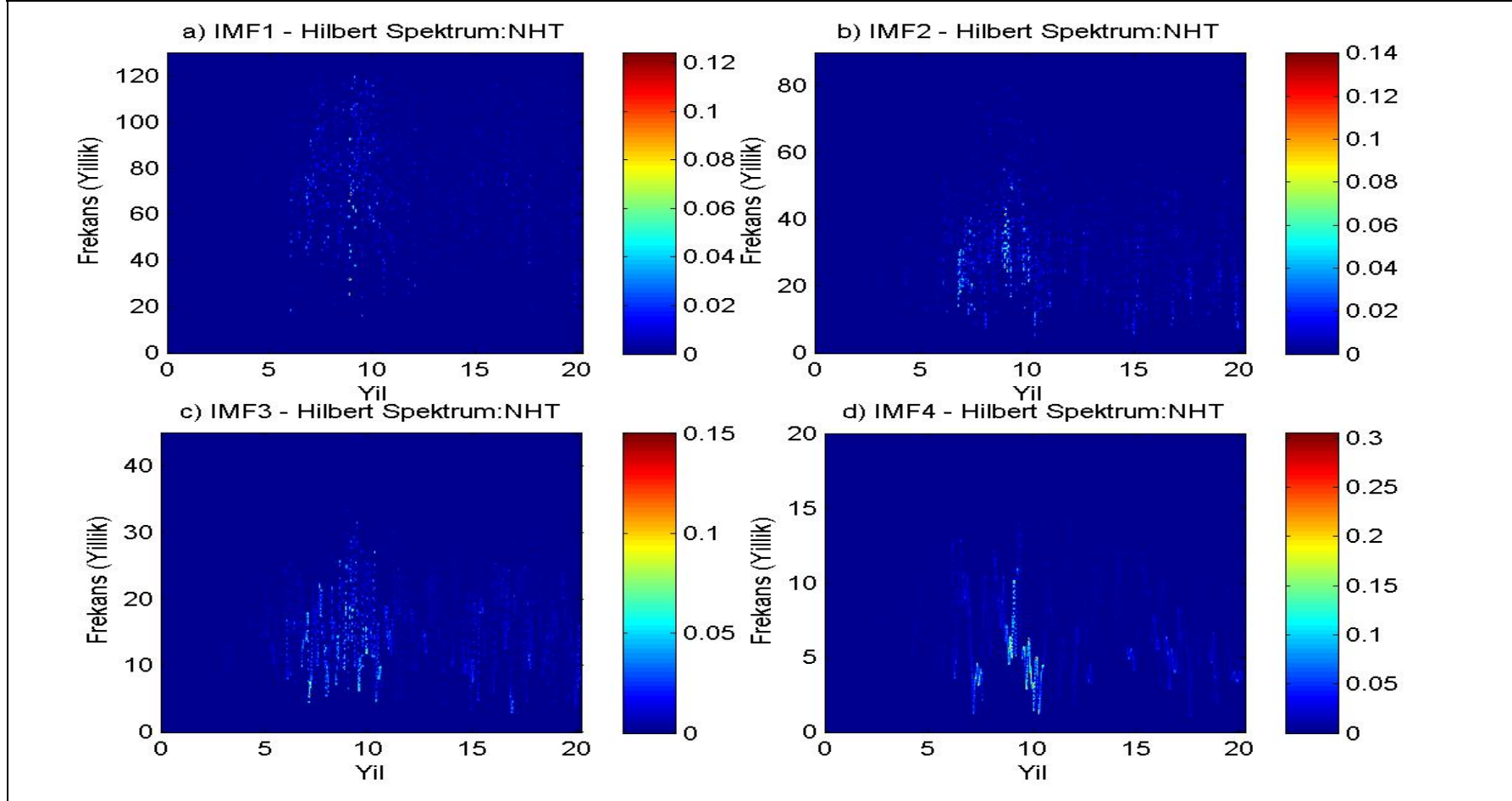
IMF8 bileşenine ait frekans verilerinin incelenmesi sonucunda, frekans değerlerinin büyük bölümünün yaklaşık 0,1 - 0,41 salınım/yıl aralığında yer aldığı görülmektedir, dolayısıyla dalgaların periyotları yaklaşık 609,76 - 2500 iş günü arasında gerçekleşmiştir. Ayrıca, frekans yapısının detaylı incelenmesi sonucunda frekans değerlerinin sırasıyla yaklaşık 0,22 salınım/yıl, 0,39 salınım/yıl ve 0,31 salınım/yıl değerlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, dalgaların büyük bölümü sırasıyla 1136,36 işgünü, 641 işgünü ve 806,45 işgünü ortalama periyoda sahiptir.

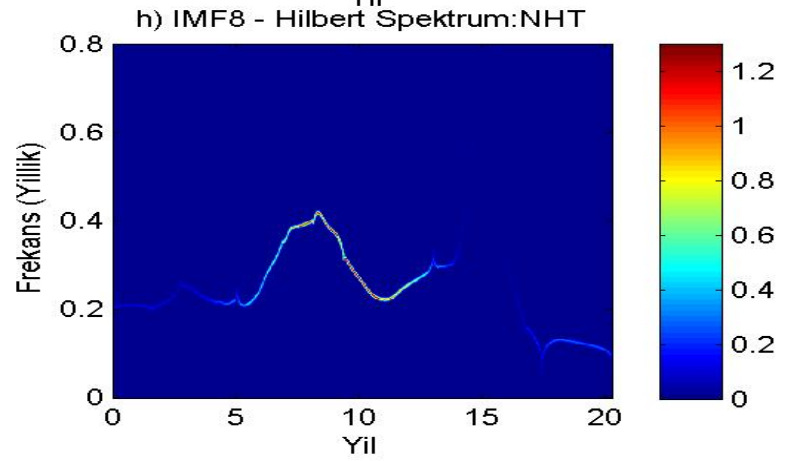
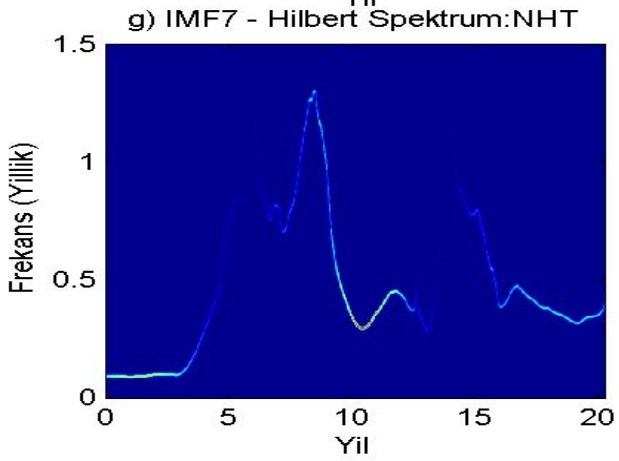
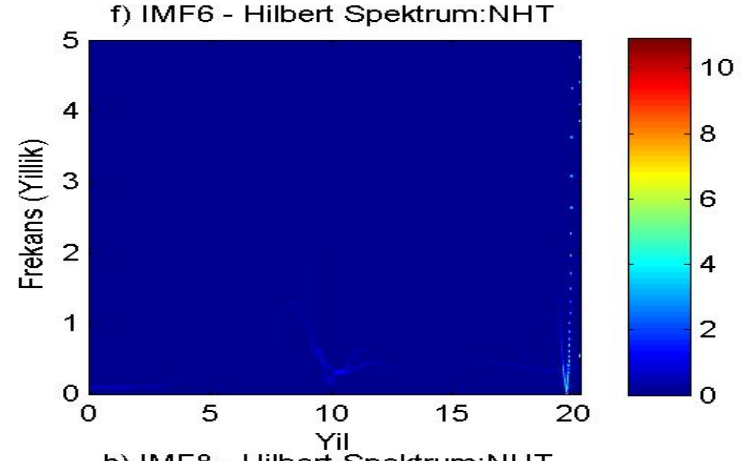
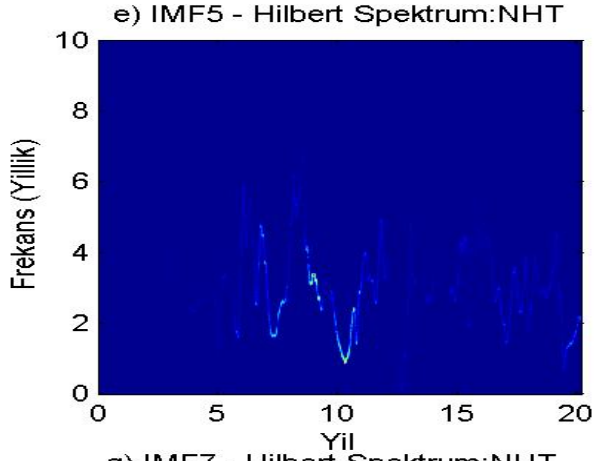
Spektrumlar incelendiğinde ise 1996 yılından itibaren salınım enerjisi ve frekansın birlikte arttığı görülmektedir. 1998 yılında frekans ve enerji seviyesinin yüksek olduğu salınımlar meydana gelmiştir. 1998 - 2002 arasındaki dönemde de yüksek enerjiye sahip salınımlar meydana gelmiştir ancak frekans değerinde azalma gözlenmiştir. 2003 - 2007 arasında görülen yüksek frekans dalgalanmasının enerjisi ise oldukça küçüktür. Dolayısıyla 1996 - 2003 yıllarında görülen salınımlar 2003 - 2007 arasındaki salınımlardan daha şiddetlidir.

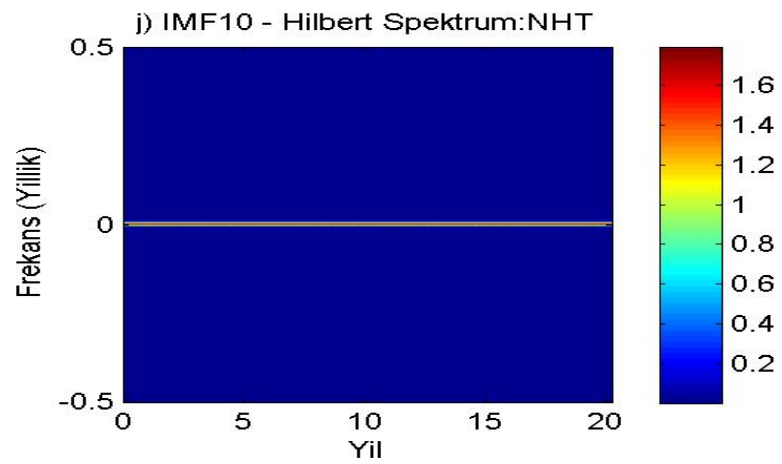
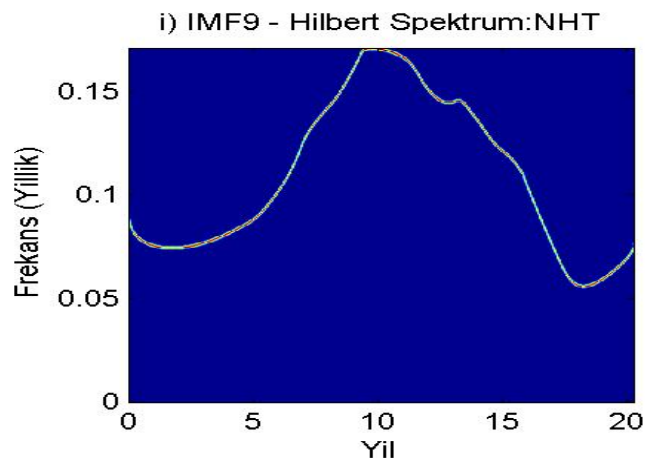
IMF9 ele alındığında ise bileşenin enerjisinin büyük ölçüde sabit kaldığı görülmektedir. 1994 yılından itibaren frekansın artarak 2001 yılında zirve yapmıştır. Söz konusu noktada frekans yaklaşık 0,17 olup salınım yaklaşık 6 yıllık ortalama periyoda sahiptir. Söz konusu tarihten sonra frekans azalarak 2009 yılında en düşük düzeye gelmiştir. 2009 - 2011 döneminde ise frekansın artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Enerji genel seviyesi 1996 - 2004 döneminde diğer dönemlere oranla

yüksek seyretmiş; en yüksek enerji seviyesi ise 1998 ikinci çeyrek - 2002 birinci çeyrek döneminde meydana gelmiştir. 1999 ikinci çeyrekte görülen frekans zirvesinin enerji seviyesi yüksek olmakla birlikte 2006 başında görülen frekans zirvesinin enerji seviyesi oldukça düşük gerçekleşmiştir. Frekans verileri 0,06 - 0,17 salınım/yıl aralığında yer almıştır dolayısıyla anlık dalga periyodu ise ortalama 4166 - 1470 iş günü aralığında yer almıştır. Frekans verilerinde ise her hangi bir yoğunlaşma eğilimine rastlanmamıştır. IMF10 bileşeni tek bir salınımdan oluşmaktadır; Bununla birlikte, frekans çok düşük düzeyde gerçekleştiği için spektrum sabit ve sıfır değerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.

Şekil 18: İMKB 100 Endeksine İlişkin NHT Spektrum Sonuçları - Model2







3.4. SPEKTRAL ANALİZE İLİŞKİN TEKNİK VE EKONOMİK DEĞERLENDİRME

EMD yöntemi, Hilbert spektrumunun fiziksel olarak anlamlı ve doğru sonuçlar elde etmesini sağlamakla birlikte frekans ve enerji değerlerinin zamana bağlı olarak değişmesini de mümkün kılmaktadır. Bu bakımdan, yukarıda ayrıntılı olarak yorumlanan spektrum sonuçları incelendiğinde frekans ve enerji verilerinde genel seviye artış ve azalışlarının meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca belirli dönemlerde kısa süreli enerji ve frekans zirveleri gözlenmekle birlikte söz konusu enerji ve frekans verileri bazı dönemlerde dalgalanmıştır. Dolayısıyla, spektrum sonuçlarının genel olarak yorumlandığı bu bölümde enerji ve frekans değerlerindeki genel değişimlere ilişkin eğilimler, zirve noktaları ve dalgalanmalar özetlenmiş ve söz konusu enerji ve frekans hareketlerinin gözlendiği tarihlerde hisse senedi piyasalarında ve ekonomilerde meydana gelen önemli olaylar sıralanmıştır. Enerji / frekans genel seviyesinin gösterdiği eğilimler ile enerji / frekans zirveleri özetlenerek her bir endekse ilişkin değerlendirmenin sonunda tablolştırılmıştır.

3.4.1. S&P 500 Endeksi

Frekansta meydana gelen eğilimler ve dalgalanmalar incelendiğinde, frekans eğilimlerinin karmaşık ve istikrarsız bir yapı gösterdiği tespit edilmiştir. Genel frekans eğilimler orta ve düşük frekanslı bileşenlerde meydana gelmektedir. En düşük frekans değerlerine sahip bileşenlerde genel azalış eğilimleri tespit edilirken daha yüksek bileşenlerde ise artış eğilimi tespit edilmiştir. Bu nedenle, uzun dönemli döngüler yavaşlarken daha kısa döneme sahip döngülerde hızlanma dolayısıyla dalgalanma artmıştır. 1991 - 1996 döneminde düşük frekanslı bileşenlerin hafif bir azalış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak söz konusu değişim ve frekans genel seviyesi oldukça düşük düzeydedir. Frekanstaki dalgalanmalar incelendiğinde 2000, 2007 ve 2008 yıllarında artış tespit edilmiştir. Dalgalanmalar ve eğilimler frekansta kaotik bir yapıya işaret etmektedir. 1991 - 1996 ve 2006 - 2010 dönemlerinde düşük frekanslı bileşenlerde dalgalanma azalışları görülürken nispeten daha yüksek frekanslı bileşenlerde artış gözlenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu iki dönemde uzun

vadeli bileşende değişim hızının düşmesine rağmen daha yüksek frekanslı bileşenlerde değişim hızının arttığı ve 1997 ve 2010 başında değişim hızının şiddetlendiği tespit edilmiştir. Frekans genel seviyesindeki lokal artışlar incelendiğinde; frekans genel seviyesinin 1998 sonrasında yüksek değerler aldığı ve sırasıyla 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, 2009 yıllarında lokal artışlar içerdiği tespit edilmiştir.

Frekans zirveleri geçmiş yirmi yılda küresel ekonomide meydana gelen istikrarsızlık ve krizler nedeniyle oldukça fazla olmakla birlikte belli dönemlerde daha fazla kümelenmiştir. Genel olarak 1998 ikinci çeyrek frekans zirvelerinin yoğunlaştığı dönemler arasında yer almaktadır; diğer dönemler ise sırasıyla 1998 sonu, 1999 ikinci çeyrek, 2000 sonu - 2002 başı, 2003 dördüncü çeyrek, 2007 üçüncü çeyrek, 2008 birinci çeyrek ve 2009 ikinci yarıda gözlenmiştir.

Enerji yapısı da frekans yapısıyla paralellik göstermektedir. Genel olarak 1991 - 2010 döneminde enerji genel seviyesinde artış eğilimi olduğu söylenebilir özellikle 1997 sonu - 1998 dönemi, 2000 - 2002 ve 2008 - 2010 dönemlerinde lokal seviye artışları tespit edilmiştir. 1998 yılı, 2002 yılı ve 2010 yılı artış eğilimi açısından dikkat çekicidir. Endekste genel olarak artış eğilimleri gözlenmekle birlikte düşük frekanslı bileşenlerde azalış eğilimine de rastlanmaktadır; ancak söz konusu bileşenlerin enerjisi ve enerjide meydana gelen değişimler oldukça düşüktür. Enerji zirveleri de dünya ekonomisinde görülen istikrarsızlık ve krizlerle paralellik göstermektedir. Söz konusu enerji zirveleri belirli dönemlerde yoğunlaşmaktadır. Enerji zirvelerinin yoğunlaştığı tarihler sırasıyla 1997 sonu, 1998 yılının ikinci yarısı, 1999 yılı, 2000 başı - 2000 ikinci çeyrek, 2000 dördüncü çeyrek - 2001 birinci çeyrek, 2001 ikinci yarısı, 2002 ikinci yarısı, 2003 başı, 2004 üçüncü çeyrek, 2007 ortası, 2007 dördüncü çeyrek - 2008 başı, 2008 dördüncü çeyrek - 2009 ikinci çeyrek, 2009 sonu - 2010 başı, 2010 üçüncü çeyrek ve 2011 yılı başıdır.

Enerji ve frekans değişimleri ve zirvelerinin karmaşık yapısını finansal piyasaların günümüzde gittikçe birbiriyle entegre olmasıyla anlaşılması ve kontrol edilmesi oldukça zor bir yapı haline gelmelerinden kaynaklanmaktadır. Söz konusu

enerji ve frekans değerleri makro bazda küresel ve yerel ekonomik gelişmelerden kaynaklanabileceği gibi mikro ölçekte piyasada kısa süreli etkiye sahip haber ve spekülatif fiyat hareketlerinden kaynaklanabilir. Ayrıca siyasi istikrarsızlıklar da piyasaları etkileyebilmektedir.

Frekans ve Enerji yapısının 1997 yılından itibaren şiddetli değişimlere maruz kaldığı görülmektedir. 1997 yılında meydana gelen Asya finans krizi ve ABD piyasalarında meydana gelen ve "küresel mini kriz" olarak adlandırılan dalgalanmalar ("global mini crash" olarak adlandırılmaktadır) enerji ve frekans üzerinde etkili olma ihtimali yüksektir. 1998 yılında ise LTCM şirketinin iflası sonucunda ABD piyasalarında meydana gelen kriz ve Rusya ekonomisinde meydana gelen kriz küresel çapta finans piyasalarını etkilemiştir. 1998 yılının sonlarında patlak veren Brezilya krizi ve ABD'de görülen politik istikrarsızlıklar da 1999 yılında küresel ekonomiyi etkileyen önemli olayların başında gelmektedir. Ayrıca 1998 yılı sonunda Ortadoğu'da meydana gelen istikrarsızlık ve sonrasında gerçekleştirilen Irak saldırısı finans piyasalarını üzerinde etkili olmuştur. 1999 yılında ise Arjantin krizi meydana gelmiştir ve krizin etkileri 2002 yılına kadar sürmüştür. 1999 sonunda Amerikan ekonomisinde önemli bir yer tutan teknoloji şirketlerinin finans piyasalarında sebep olduğu fiyat artışının tersine dönerek hızla değer kaybetmesiyle Amerikan ekonomisi 1999 yılı sonu ve 2000 yılında fiyat dalgalanmalarına maruz kalmıştır. 2000 yılında dünya ekonomisinin önemli aktörlerinden olan Japonya, Rusya, Endonezya ve Brezilya gibi ülkelerde görülen ekonomik istikrarsızlıklar frekans ve enerji üzerinde etkili olma ihtimali yüksektir. Yemen'de meydana gelen terör saldırılarının etkileri de enerji ve frekansta değişim meydana getirmiş olabilir. 2000 - 2001 döneminde AB ekonomilerinde meydana gelen resesyon ABD ekonomisi dolayısıyla ABD finans piyasaları üzerinde etkili olması enerji ve frekanstaki değişimin temel nedenlerinden biri olabilir. Özellikle, Almanya ve Fransa ekonomilerinde resesyon 2001 ve 2002 yıllarında etkisini sürdürmüştür. Ayrıca ABD ekonomisinde 2001 yılında görülen kısa süreli resesyon ile Enron şirketinin iflası ve 11 Eylül saldırıları ABD ekonomisinde istikrarsızlık dolayısıyla frekans ve enerji değerlerinde değişim meydana getiren önemli olaylar arasındadır. 2001 yılının piyasa etkileme potansiyeli önemli olan diğer bir olay ise

ekonomi yönetiminin piyasaları canlandırmak amacıyla vergi oranlarının düşürülmesini içeren yasaların çıkarılmasını sağlamalarıdır. 2002 yılında ABD ekonomisinde ekonomik istikrarsızlıklar görülmektedir. 2000 - 2001 döneminde AB ekonomisinde görülen resesyona ABD ekonomisine etkileri 2002 ve 2003 yılında şiddetlenmiştir. Özellikle 2002 yılında ABD, Kanada, Asya ve Avrupa hisse senedi piyasalarında meydana gelen küresel çapta düşüşler frekans ve enerji üzerinde etkili olmuştur. Ayrıca, 2002 yılında Afganistan'da ve 2003 yılında Irak'ta başlatılan savaşlar frekans ve enerji yapısı üzerinde etkili olmuş olabilir. 2006 yılından itibaren görülen enerji ve frekans yapısı ABD ekonomisinde meydana gelen ve küresel etkilere sahip Mortgage krizinden kaynaklanmış olabilir. 2006 yılı ortalarından itibaren etkisini gösteren kriz, 2007 yılında şiddetlenerek piyasalarda dalgalanmalar meydana getirmiştir. 2007 yılında Amerikan Merkez Bankası'nın piyasaya fon sağlaması gibi krizi önlemek amaçlı tedbirler ile American Home Mortgage, Ameriquest ve Bear Stearns fonlarının iflası da endeks bileşenlerinin frekans ve enerji yapılarını etkileyen nedenler arasında gösterilebilir. Ayrıca, 2007 yılında Çin sermaye piyasalarında meydana gelen fiyat düşüşleri de frekans ve enerji üzerinde etkili olan faktörler arasında gösterilebilir.

Mortgage krizi ile birlikte ABD piyasalarında meydana gelen dalgalanmalar ve ABD ekonomisinin resesyona girmesi, AB üye ülkelerde meydana gelen ekonomik krizler 2008 - 2010 döneminde enerji ve frekans yapısını etkileyen en önemli faktörler arasında gösterilebilir. 2008 - 2009 döneminde ABD ekonomisinde görülen resesyona ile 2008 yılından itibaren Belçika, İrlanda, İzlanda, İspanya, Portekiz, Yunanistan ekonomileri ile Rusya, Ukrayna ve Dubai ekonomilerinde meydana gelen istikrarsızlıkların etkisi 2011 yılı başına kadar devam etmektedir. Dolayısıyla, 2008 yılından itibaren meydana gelen kredi krizi, küresel durgunluk ve Avrupa borç krizi frekans ve enerji zirve ve dalgalanmaları üzerinde etkili olabilecek ana faktörlerin başında gelmektedir.

Tablo 1. Enerji Seviyesi Genel Eğilimleri - S&P 500 Endeksi

BİLEŞEN KODU	EĞİLİM
M1/I9	1991 - 2010: enerjide azalma eğilimi
M2/I9	1991 - 2011: enerjide artma eğilimi
M1/I7	1994 - 1999: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I7	1995 ortası: enerjide artış eğilimi
M2/I5	1997 - 2001: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I5, M2/I1, M2/I2	1997 - 2002: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I5	1997 dördüncü çeyrek - 1998 ikinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I6	1997 sonu - 2008 sonu: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I5	1997 üçüncü çeyrek - 1998 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I6	1998 - 1999 başı: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I1, M1/I2, M1/I3	1998 - 2002: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I6	1998: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	1999 başı: enerjide artış eğilimi
M2/I3	1999 dördüncü çeyrek - 2000 ikinci çeyrek: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I7	1999 ikinci çeyrek - 2001 sonu: enerji genel seviyesi düşük
M1/I3	1999 sonu - 2000 ikinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I6	2001 üçüncü çeyrek - 2003 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I3, M1/I4	2002 ikinci yarı: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I2	2003 birinci yarı: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	2004 ikinci çeyrek - 2008 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi düşük
M2/I8	2005 sonu - 2011: enerjide artış eğilimi
M2/I2	2007 - 2008: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I7	2007 - 2011: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I1	2007 ortası - 2009 ortası: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I1, M1/I2	2008 - 2011: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I7	2008 başı - 2009 üçüncü çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I1	2008 dördüncü çeyrek - 2009 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde

M1/I6	2008 ikinci çeyrek - 2009 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	2008 sonu - 2011 başı: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I5	2008 üçüncü çeyrek - 2009 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I5, M2/I6	2008: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I3	2009 - 2011: enerji genel seviyesi yüksek

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 2. Frekans Seviyesi Genel Eğilimleri - S&P 500 Endeksi

BİLEŞEN KODU	EĞİLİM
M2/I8	1991 - 1996: frekansta artış eğilimi
M2/I9	1991 - 1996: frekansta dalgalanma düşük düzeyde
M1/I8, M1/I9	1991 - 2003 ortası: frekansta artış eğilimi
M1/I7	1995 ortası: frekansta artış eğilimi
M1/I10	1996 - 1997 ortası: frekans en düşük düzeyde
M2/I8	1996 ortası - 2005: frekansta azalış eğilimi
M1/I5	1997 - 2002: frekansta dalgalanma eğilimi
M2/I9	1997 - 2011: frekansta azalma eğilimi
M1/I10	1997 ortası - 2009 birinci yarısı: frekansta artış eğilimi
M2/I6	1997 sonu: frekansta şiddetli dalgalanma
M1/I6	1998 - 1999 başı: frekansta dalgalanma eğilimi
M1/I7	1998 sonu - 2009 başı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I6	1999 - 2006 sonu: frekans dalgalanmasında azalma eğilimi
M1/I7	1999 başı: frekansta artış eğilimi
M1/I8	2000 ikinci yarısı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I8	2002 birinci yarısı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I8	2005 - 2006: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I8	2005 sonu - 2011: frekansta artış eğilimi
M2/I6	2006 - 2011: frekansta şiddetli dalgalanma
M1/I9	2006 birinci yarısı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I9	2006 ikinci yarısı - 2011: frekansta azalma eğilimi
M1/I8	2007 - 2011: frekansta genel azalış eğilimi
M1/I8	2007 birinci yarısı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I5	2008 üçüncü çeyrek - 2009 birinci çeyrek: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I8, M1/I10	2009 birinci yarısı: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I10	2009 ikinci yarısı - 2011: frekansta azalma eğilimi

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 3. Enerji Zirveleri - S&P 500 Endeksi

BİLEŞEN KODU	ENERJİ ZİRVESİ
M2/I4	1991 sonu
M1/I4	1992 birinci çeyrek
M1/I1, M1/I2, M1/I4, M2/I1, M2/I2, M2/I4	1997 sonu
M1/I3	1998 ikinci çeyrek
M1/I1, M1/I4, M2/I1	1998 dördüncü çeyrek
M2/I4, M2/I6, M2/I3	1998 sonu
M1/I2	1999 birinci çeyrek
M2/I4	1999 üçüncü çeyrek
M1/I4, M2/I5	1999 dördüncü çeyrek
M1/I1	2000 birinci çeyrek
M2/I1	2000 ikinci çeyrek
M2/I4	2000 dördüncü çeyrek
M1/I1	2001 başı
M2/I1	2001 birinci çeyrek
M2/I6	2001 üçüncü çeyrek
M1/I3, M1/I4, M2/I4	2001 dördüncü çeyrek
M2/I6	2002 başı
M1/I6	2002 ikinci çeyrek
M1/I1, M1/I2, M2/I2, M2/I3	2002 üçüncü çeyrek
M2/I6	2003 başı
M2/I4, M2/I6	2004 üçüncü çeyrek
M2/I6	2007 ortası
M2/I2	2007 dördüncü çeyrek
M1/I2, M2/I3, M2/I4, M2/I7	2008 başı
M1/I4	2008 birinci çeyrek
M1/I6	2008 dördüncü çeyrek
M2/I3	2008 sonu
M1/I2, M1/I3, M2/I2, M2/I6	2009 başı
M1/I4, M2/I4	2009 birinci çeyrek
M2/I7	2009 üçüncü çeyrek
M1/I3, M2/I3	2009 sonu
M1/I3	2010 üçüncü çeyrek
M2/I3	2010 sonu
M1/I2, M1/I6, M1/I7	2011 başı

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 4. Frekans Zirveleri - S&P 500 Endeksi

BİLEŞEN KODU	FREKANS ZİRVESİ
M2/I8	1993 sonu
M2/I5	1995 birinci çeyrek
M1/I5	1995 ikinci çeyrek
M1/I7	1995 üçüncü çeyrek
M2/I8	1996 ikinci çeyrek
M2/I7	1996 sonu
M1/I5	1998 dördüncü çeyrek
M1/I8, M2/I5, M2/I6, M1/I7	1998 sonu
M2/I5	1999 başı
M1/I5, M1/I6	1999 ikinci çeyrek
M1/I5	1999 dördüncü çeyrek
M2/I6	2000 üçüncü çeyrek
M1/I7	2000 dördüncü çeyrek
M1/I6	2000 sonu
M2/I7	2001 başı
M2/I6	2001 ortası
M2/I7	2001 üçüncü çeyrek
M2/I6, M2/I5	2002 başı
M1/I9	2003 ortası
M1/I5	2003 dördüncü çeyrek
M2/I6	2005 üçüncü çeyrek
M2/I6	2007 ortası
M1/I7, M2/I6	2007 üçüncü çeyrek
M1/I6	2007 sonu
M2/I5	2008 birinci çeyrek
M2/I6	2009 birinci çeyrek
M2/I5	2009 ortası
M2/I6,	2009 üçüncü çeyrek
M1/I5, M1/I6	2009 dördüncü çeyrek
M2/I6	2010 ortası

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

3.4.2. İMKB 100 Endeksi

İMKB 100 endeksine ilişkin bileşenlere ait spektrumlar incelendiğinde, frekans genel seviyesinin 1991 - 2000 döneminde nispeten daha düşük olduğu gözlenmektedir. 2000 yılında frekans genel seviyesinde artış tespit edilmiştir. Dolayısıyla, 2000 yılından itibaren bileşenlerin frekansındaki artış endeks bileşenlerinin değişim hızının arttığı şeklinde yorumlanabilir. Frekans piyasa stresinin bir ölçütü olarak kabul edilirse 2000 sonrası piyasanın stres seviyesinde artış meydana geldiği söylenebilir. Frekans genel seviyesinde lokal artışlar incelendiğinde sırasıyla; 1997, 1998, 2001, 2003, 2005, 2008 ve 2009 yıllarında lokal frekans artışlarının meydana geldiği gözlenmiştir. Frekanstaki eğilimler incelendiğinde S&P 500 endeksine benzer karmaşık bir yapı gözlenmektedir. Özellikle 1991 - 2007 döneminde düşük frekanslı bileşenlerde hafif düşüş eğilimi gözlenirken; nispeten daha yüksek frekanslı bileşenlerde artış eğilimlerine ilişkin bulgulara rastlanmıştır. Dolayısıyla, 1991 - 2007 döneminde düşük frekanslı bileşende meydana gelen dalgalanmaların süresi giderek artarken daha yüksek frekanslı bileşende meydana gelen dalgalanmaların süresi gittikçe kısalmaktadır. Düşük frekanslı bileşenlerin ortalama periyotlarının oldukça yüksek olduğu dikkate alındığında genel olarak 1991 - 2007 döneminde bileşenlerin değişim hızının arttığı sonucuna ulaşılabilir. 2007 sonrası dönemde ise daha kuvvetli bir artış eğiliminden söz edilebilir. Frekans değerlerindeki dalgalanmalar dikkate alındığında ise genel olarak dalgalanma şiddetinin 2008 yılından itibaren arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, 2008 ve sonrasında bileşenlerin frekanslarında daha şiddetli dalgalanmalar meydana gelerek daha kaotik bir yapı sergiledikleri sonucuna ulaşılabilir. Bileşenlerdeki lokal frekans değişimleri incelendiğinde ise 2000, 2002, 2004 ve 2008 yıllarında şiddetli frekans değişimi meydana geldiği söylenebilir. Frekans zirveleri incelendiğinde genel olarak 1994 ve 1997 yılından itibaren daha çok gerçekleştikleri söylenebilir. Frekans zirvelerinin yoğunlaştığı dönemler; 1991 üçüncü çeyrek, 1992 üçüncü çeyrek, 1994 dördüncü çeyrek, 1997 birinci çeyrek ve 1997 ortası, 2000 dördüncü çeyrek, 2002 üçüncü çeyrek - 2003 başı, 2005 ortası - 2006 başı dönemi, 2006 sonu, 2008 üçüncü çeyrek ve 2008 sonu olarak sıralanabilir.

Enerji genel yapısı incelendiğinde karmaşık bir yapı gözlenmektedir. Enerji genel seviyesi bileşenlere göre farklılıklar göstermekle birlikte tüm bileşenlerde 1991, 1997, 2000, 2001 ve 2003 yıllarında enerji genel seviyesinde değişimler tespit edilmiştir. Ayrıca genel olarak 1993, 1998 - 2000, 2001, 2003 - 2004 ve 2007 - 2009 dönemlerinde lokal enerji genel seviye artışları tespit edilmiştir. Yukarıdaki bulgulara paralel olarak 1997, 1998, 2000, 2006, 2007 ve 2008 yıllarında enerjide artış eğilimleri meydana geldiğine ilişkin bulgular elde edilmiştir. Enerji zirveleri son yirmi yılda gelişmekte olan piyasalarda görülen istikrarsızlıklara paralel olarak oldukça fazla ve tüm periyotta yaygın olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte enerji zirveleri ekonomik ve finansal piyasalardaki önemli gelişmelerin etkisiyle belirli dönemlerde daha fazla gözlenmiştir. Enerji zirvelerinin diğer dönemlere oranla daha yoğun olarak görüldüğü dönemler sırasıyla; 1994 başı, 1995 birinci çeyrek, 1997 başı, 1998 başı, 1998 ikinci çeyrek ve ortası, 1999 dördüncü çeyrek - 2000 başı, 2000 dördüncü çeyrek - 2001 başı, 2005 üçüncü çeyrek, 2006 başı - birinci çeyrek, 2007 başı - 2008 başı, 2008 üçüncü çeyrek, 2010 başı - 2011 başı olarak tespit edilmiştir.

Gelişmekte olan piyasalardan olan Türkiye piyasası son yirmi yılda yerel ve küresel ekonomik, siyasi ve jeopolitik gelişmelerden etkilenmiştir. Enerji ve frekans verilerini etkileyebilecek sayısız kısa süreli şokun yanında küresel ve yerel ekonomik gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler içinde 1991 yılında başlatılan Körfez Savaşı sonunda gerçekleştirilen ekonomik ambargo ve bankalardan çekilen sermaye sonunda meydana gelen kur artışının ekonomi ve sermaye piyasalarında etkili olan faktörlerin başında gelmektedir. Ayrıca 1990 - 1991 döneminde ABD ekonomisinde görülen resesyon da Türkiye piyasalarını etkilemiştir. 1992 - 1993 döneminde özellikle Finlandiya, Norveç ve İsveç ekonomilerini etkileyen Avrupa para krizinin Türkiye ekonomisini etkilemesi muhtemeldir. Ayrıca 1992 yılında Irak'ta yaşanan karışıklık nedeniyle yapılan müdahaleler de sermaye piyasalarında stresi artıran nedenler arasında gösterilebilir. 1993 yılında Türkiye ekonomisinde yaşanan kriz ve bu süreç sonunda 1994 yılında "5 Nisan kararları" olarak adlandırılan ekonomik kararlar da sermaye piyasasına ilişkin frekans ve enerji değerlerini etkileyen nedenler arasında sayılabilir. 1994 yılında Türkiye ekonomisinde meydana gelen kriz haricinde Meksika ve Venezuela ekonomilerinde meydana gelen kriz de sermaye

piyasalarını etkileme potansiyeli yüksektir. 1995 yılında ise faiz oranlarındaki yükseklik ve siyasi istikrarsızlık ekonomiyi etkilemiştir. Ayrıca Kuzey Irak'ta yaşanan istikrarsızlık ve Türkiye'nin Gümrük Birliği'ne üye olması 1995 yılının diğer önemli olayları arasındadır. Seçim ekonomisi nedeniyle 1996 yılında ekonomik istikrarsızlık meydana gelmiş ve kriz tedirginliği piyasalarda gözlenmiştir. 1997 yılında Türkiye' de görülen siyasi istikrarsızlık yanında Asya finans krizi ve ABD piyasalarında meydana gelen kriz "küresel mini kriz" olarak adlandırılan dalgalanmalar enerji ve frekans üzerinde etkili olma ihtimali yüksektir. 1998 yılında Türkiye'de görülen siyasi çalkantılar, hükümet istifası, siyasi parti kapatılmasına ilişkin tartışmalar ve özelleştirme sürecinde meydana gelen yolsuzluk iddiaları piyasaları etkileyen önemli olaylar arasında gösterilebilir. 1998 yılında ABD ve Rusya piyasalarında meydana gelen kriz ve Rusya ekonomisinde meydana gelen küresel çapta finans piyasalarını etkilemiştir. 1998 yılının sonlarında patlak veren Brezilya, Ekvator krizleri ve ABD'de görülen politik istikrarsızlıklar da 1999 yılında küresel ekonomiyi etkileyen önemli olayların başında gelmektedir. Ayrıca 1998 yılı sonunda Ortadoğu'da meydana gelen istikrarsızlık ve sonrasında gerçekleştirilen Irak saldırısı finans piyasalarını üzerinde etkili olmuştur. Brezilya, Ekvator krizlerinin süregelen etkileri yanında Arjantin ekonomisinde meydana gelen kriz de 1999 yılında Türkiye ekonomisini etkileyen nedenler arasında yer alabilir. 1999 yılında Türkiye'de yürütülen seçim ekonomisi faaliyetleri ve meydana gelen depremler de piyasa enerji ve frekansını etkileyebilecek olaylar arasında gösterilebilir. 1999 yılında meydana gelen Arjantin krizinin etkileri 2002 yılına kadar devam etmiştir. 1999 sonunda Amerikan ekonomisinde önemli bir yer tutan teknoloji şirketlerinin finans piyasalarında sebep olduğu fiyat artışının tersine dönerek hızla değer kaybetmesiyle Amerikan ekonomisi 1999 yılı sonu ve 2000 yılında fiyat dalgalanmalarına maruz kalmıştır. Söz konusu dalgalanmalar küresel çapta sermaye hareketlerinde neden olmuştur. Ayrıca 2000 yılının sonlarında Türk bankalarının finansal açıdan zor duruma düşmeleriyle tetiklenen "Kasım 2000 krizi" olarak adlandırılan kriz Türkiye ekonomisini derinden etkilemiştir. Küresel piyasalarda dünya ekonomisinin önemli aktörlerinden olan Japonya, Rusya, Endonezya, Brezilya gibi ülkelerde 2000 yılında görülen ekonomik istikrarsızlıklar frekans ve enerji üzerinde etkili olma ihtimali yüksektir. Ayrıca 2000 - 2001 döneminde AB

ekonomilerinde meydana gelen resesyon Türkiye ekonomisini ve sermaye piyasalarını etkilemiştir. 2001 yılında Türkiye'de meydana gelen siyasi ve ekonomik krizler nedeniyle finans piyasalarında oluşan dalgalanmalar frekans ve enerji üzerinde etkili olan faktörler arasında gösterilebilir. Küresel boyutta ise özellikle Almanya ve Fransa ekonomilerinde 2001 ve 2002 yıllarında da etkisini sürdüren resesyon, ABD ekonomisinde 2001 yılında görülen kısa süreli resesyon, Enron şirketinin iflası ve 11 Eylül saldırıları küresel dalgalanmalar meydana getirmiştir. 2002 yılının sonlarında Türkiye'de görülen siyasi reform hareketleri de borsayı etkileyebilme potansiyeli yüksek olaylar arasında gösterilebilir. 2002 - 2003 döneminde ABD ekonomisinde görülen resesyon ve Türkiye'de görülen siyasi tartışmalar piyasa enerji ve frekans yapısını etkileyen en önemli olayların başında gelmektedir. Özellikle 2002 yılında ABD, Kanada, Asya ve Avrupa hisse senedi piyasalarında meydana gelen küresel çapta düşüşler frekans ve enerji üzerinde etkili olmuştur. Ayrıca, 2002 yılında başlatılan Afganistan Savaşı ve 2003 yılında gerçekleştirilen Irak Savaşı frekans ve enerji yapısı üzerinde etkili olmuş olabilir. 2003 Mart ayında "1 Mart Tezkeresi" olarak adlandırılan tezkerenin meclis tarafından reddedilmesi ve 2003 yılı sonlarında İstanbul'da meydana gelen terör saldırıları da diğer önemli olaylardır. 2004 yılında ise Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne adaylığı için gerçekleştirilen reform sürecine ilişkin siyasi tartışmalar önemli olaylar arasında gösterilebilir. 2006 - 2007 döneminde ABD ekonomisinde kendini hissettiren kriz Türkiye ekonomisini etkileme olasılığı en yüksek olayların başında gelmektedir. Ayrıca, 2007 yılında Çin sermaye piyasalarında meydana gelen fiyat düşüşleri de frekans ve enerji üzerinde etkili olan faktörler arasında gösterilebilir. Mortgage krizi ile birlikte ABD piyasalarında meydana gelen dalgalanmalar ve ABD ekonomisinin resesyona girmesi, AB üye ülkelerde meydana gelen ekonomik krizler 2008 - 2010 döneminde enerji ve frekans yapısını etkileyen en önemli faktörler arasında gösterilebilir. 2008 - 2009 döneminde ABD ekonomisinde görülen resesyon ile 2008 yılından itibaren Belçika, İrlanda, İzlanda, İspanya, Portekiz, Yunanistan ekonomileri ile Rusya, Ukrayna ve Dubai ekonomilerinde meydana gelen istikrarsızlıkların etkisi 2011 yılı başına kadar devam etmektedir. Dolayısıyla, 2008 yılından itibaren meydana gelen kredi krizi, Küresel durgunluk ve Avrupa Borç krizi frekans ve enerji zirve ve dalgalanmaları üzerinde etkili olabilecek ana faktörlerin

başında gelmektedir. 2007 sonrasında, genel olarak Türkiye ekonomisi ABD ekonomisinde 2006 yılından itibaren meydana gelen krizin etkisi altında kalmıştır ve söz konusu etki 2008 - 2009 döneminde daha fazla hissedilmiştir. Bununla birlikte son dönemde Türkiye ekonomisi artan emtia fiyatlarından etkilenmekle birlikte ekonomik istikrar açısından iç piyasadan kaynaklanan ekonomik kriz yaşamamıştır. Bu anlamda 2008 ve sonrasındaki frekans ve enerji hareketlerinin dış etkenler nedeniyle oluşması daha güçlü bir olasılıktır.

Tablo 5. Enerji Seviyesi Genel Eğilimleri - İMKB 100 Endeksi

BİLEŞEN KODU	EĞİLİM
M1/I8	1991 - 1994: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I10, M1/I9	1991 - 1999 sonu: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I2	1991 - 2000: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I3	1991 - 2001: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I10	1991 - 2011: enerjide azalış eğilimi
M1/I5	1993 ikinci çeyrek - 1994 başı: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I6	1993 üçüncü çeyrek - 2002 ikinci çeyrek: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I3	1994: enerji genel seviyesinde artış eğilimi
M1/I8	1995 - 2011: enerji genel seviyesi düşük
M1/I9	1997 dördüncü çeyrek: enerji seviyesi genel seviyesinde düşüş
M1/I7	1997 ikinci çeyrek - 2000 ikinci çeyrek: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I8	1998 - 2002: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I9	1998 ikinci çeyrek - 2002 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	1998 ikinci yarı: enerji artışı
M2/I4	1998 sonu - 2000 başı: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I6	1998 yılı: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I8	1998: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I5	1998: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I4	1999 sonu - 2001 başı: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I5	1999 sonu - 2001 sonu: enerjide dalgalanma
M1/I6	1999: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I8	2000 - 2006: enerji genel seviyesi düşük
M1/I9	2000 - 2011: enerji genel seviyesi düşük
M1/I7	2000 birinci yarı: enerji artışı
M2/I4	2000 üçüncü çeyrek - 2001 birinci çeyrek: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I7	2000 üçüncü çeyrek - 2002 üçüncü çeyrek: enerji genel seviyesi yüksek
M1/I4	2000: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I7	2001 - 2003 ortası: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	2001 birinci çeyrek - 2006 sonu: enerji genel seviyesi düşük

M2/I4	2001 birinci yarı: enerji genel seviyesi yüksek
M2/I6	2001 ikinci yarı - 2003 sonu: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I7	2001: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I8	2003 - 2007: enerji genel seviyesi düşük
M1/I1	2003 - 2011: enerji genel seviyesi düşük
M1/I5	2003 birinci çeyrek - 2011: enerji genel seviyesi düşük
M2/I7	2003 üçüncü çeyrek - 2007 başı: enerji genel seviyesi düşük
M1/I5	2008 birinci yarı: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I6	2008 ikinci yarı: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I6	2008: enerji genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I3	2008: enerji genel seviyesinde artış eğilimi
M2/I7	2009 - 2011: enerji genel seviyesi yüksek

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 6. Frekans Seviyesi Genel Eğilimleri - İMKB 100 Endeksi

BİLEŞEN KODU	EĞİLİM
M1/I9	1991 - 1999: frekans genel seviyesi düşük
M1/I10	1991 - 2011: frekansta artış eğilimi
M1/I4	1991: frekans genel seviyesi yüksek
M2/I5	1997: frekans genel seviyesi yüksek
M2/I8	1998 - 2002: frekansta düşüş eğilimi
M1/I7	1998 başı - 1999 üçüncü çeyrek: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I5	1998: frekans genel seviyesi düşük
M2/I8	1998: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I9	1999 - 2004: frekansta güçlü artış eğilimi
M2/I5	1999 sonu - 2001 sonu: frekansta dalgalanma
M1/I8	2000 - 2006 frekansta dalgalanma
M1/I9	2000 - 2011: frekansta dalgalanma
M1/I9	2000 başı: frekansta artış eğilimi
M1/I8	2000 ortası: frekansta dalgalanma başlangıcı
M2/I9	2001 - 2009: frekansta azalma eğilimi
M2/I9	2001: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I8	2002 ikinci çeyrek - 2003 birinci çeyrek: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I8	2003 - 2007: frekans genel seviyesi yüksek
M1/I7	2004 - 2007: frekansta dalgalanma
M2/I7	2004 - 2007: frekansta şiddetli dalgalanma
M1/I7	2008 - 2010: frekansta dalgalanma
M1/I6	2008: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M1/I7	2008: frekans genel seviyesi en yüksek düzeyde
M2/I9	2009 - 2011: frekansta artış eğilimi

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 7. Enerji Zirveleri - İMKB 100 Endeksi

BİLEŞEN KODU	ENERJİ ZİRVESİ
M1/I5	1991 başı
M1/I2	1991 üçüncü çeyrek
M1/I4, M1/I6	1992 ikinci çeyrek
M1/I4	1993 dördüncü çeyrek
M1/I2, M1/I4	1994 başı
M1/I3	1994 birinci çeyrek
M1/I1, M1/I4, M1/I5	1995 birinci çeyrek
M1/I1, M1/I2, M1/I4, M1/I5	1997 başı
M1/I5, M2/I2	1997 dördüncü çeyrek
M1/I3, M1/I5	1998 başı
M2/I3	1998 birinci çeyrek
M2/I2, M2/I4, M2/I6	1998 ikinci çeyrek
M1/I5, M2/I2	1998 ortası
M1/I2	1998 dördüncü çeyrek
M1/I1	1999 başı
M1/I1, M1/I2, M1/I5, M2/I2, M2/I3, M2/I6	1999 sonu
M2/I4, M2/I3, M2/I5, M2/I1	2000 başı
M2/I6	2000 dördüncü çeyrek
M2/I4, M2/I1, M2/I3, M1/I1	2000 sonu
M1/I5, M2/I2, M2/I5	2001 başı
M1/I2, M2/I3	2001 birinci çeyrek
M2/I2	2001 ikinci çeyrek
M1/I5	2002 başı
M1/I5	2002 ortası
M1/I4	2003 üçüncü çeyrek
M1/I6	2004 başı
M1/I4	2005 üçüncü çeyrek
M1/I4	2007 sonu
M1/I1	2008 üçüncü çeyrek
M1/I2	2009 sonu

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

Tablo 8. Frekans Zirveleri - İMKB 100 Endeksi

BİLEŞEN KODU	FREKANS ZİRVESİ
M1/I5, M1/I6	1991 üçüncü çeyrek
M1/I7	1991 dördüncü çeyrek
M1/I5	1993 ikinci çeyrek
M1/I6	1993 üçüncü çeyrek
M1/I4	1994 ikinci çeyrek
M1/I5, M1/I9	1994 dördüncü çeyrek
M1/I5	1999 başı
M2/I9	1999 ikinci çeyrek
M2/I6	2000 dördüncü çeyrek
M1/I4	2002 sonu
M1/I6, M1/I7	2003 başı
M1/I5	2004 ortası
M1/I6	2005 birinci çeyrek
M1/I7, M2/I9	2006 başı
M1/I5	2008 üçüncü çeyrek
M1/I7	2008 sonu

Not: M(a)/I(b) şeklinde ifade edilebilen bileşen kodunda "a" ve "b", sırasıyla "Model" ve "Bileşen" numaralarını ifade etmektedir.

3.5. TDIC SONUÇLARI

Endekslere ait IMF bileşenleri arasındaki TDIC katsayılarından oluşan grafikler ikizkenar üçgen biçiminde olup üçgenin tabanı zamanı ifade ederken yan kenarlar ise pencere genişliğini göstermektedir. TDIC hesaplanmasına kullanılan IMF çiftlerinin seçiminde söz konusu bileşenlerin ortalama periyotları temel alınmıştır. Birbirine yakın ortalama periyoda sahip bileşenler arasındaki TDIC korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. TDIC katsayılarının incelenmesinde aşağıda belirtilen yol izlenmiştir: Öncelikle, ilk yılları kapsayacak şekilde genişletilen pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelenmiştir. Bileşenin tümünü kapsayan en geniş pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayısının tespit edilmesinden sonra ise pencere son yılları kapsayacak şekilde daraltılmış ve elde edilen korelasyon değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Sonraki aşamada ise, TDIC katsayılarındaki değişime neden olan dönemlerin detaylı olarak belirlenmesi amacıyla dar pencere kullanılarak elde edilen alt dönemlere ilişkin korelasyon katsayıları da incelenmiştir.

3.5.1. Model1 Sonuçları

Şekil 19, Model1 kullanılarak elde edilen S&P 500 ve İMKB 100 bileşenleri arasındaki TDIC Pearson katsayılarını göstermektedir. Ortalama frekans değerleri ve elde edilen IMF sayılarının aynı olmasından ötürü iki endeksin bileşenleri arasındaki korelasyon değerleri yüksek frekanslı bileşenlerden başlayarak düşük frekanslı bileşenlere doğru bileşen çiftleri halinde hesaplanmıştır. Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF1 bileşenlerine ilişkin TDIC katsayılarının genel yapısı incelendiğinde ilk yıllarından itibaren pencere genişliği arttıkça korelasyon katsayısının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca pencerenin son yılları barındıracak şekilde daraltıldığı durumda ise korelasyon katsayılarındaki artış eğilimi hızlanmaktadır. Genel olarak incelendiğinde Haziran 1996 tarihinde kadar korelasyon değerleri -0,05 seviyesindedir. Sonrasında pencere genişletildiğinde korelasyon katsayısı artarak Eylül 2008 dönemine kadar olan periyot için 0,04; bileşenlerin tümü için ise 0,06 olarak tespit edilmiştir. Pencerenin son yılları içerecek biçimde daraltılması durumunda; Nisan 1994 - 2011 dönemi için korelasyon

katsayısı 0,07 olarak tespit edilirken Ekim 2002 - 2011 dönemi için korelasyon katsayısı 0,13 olarak hesaplanmıştır. Mayıs 2006 - 2011 ve Haziran 2006 - 2011 dönemlerinde ise korelasyon katsayıları sırasıyla 0,20 ve 0,25 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Şubat 2006 - Şubat 2007 dönemindeki korelasyon katsayısı -0,15 olarak hesaplanmıştır. Ekim 2008 - Eylül 2010 döneminde ise korelasyon 0,26 olarak tespit edilmiştir. Oldukça dar pencereler kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde korelasyon katsayısındaki değişimin genel bir örüntüye sahip olmadığı, karmaşık yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dar pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde; 1998 yılında, 2001 ve 2007 yıllarının ikinci yarısında ve 2008 - 2010 döneminde korelasyon katsayılarının 0,35 değerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. 2006 yılının ikinci yarısında ise korelasyon -0,40 düzeyindedir. 2006 ve sonrasında korelasyon değerlerinde görülen istikrarsızlık yüksek frekanslı bileşenlerin finansal ve ekonomik krizlerin yanında karmaşık dinamiklerin etkisi altında olduğuna işaret etmektedir. En yüksek korelasyon değerine, küresel finansal krizin etkilerinin yoğunlaştığı 2008-2010 döneminde ulaşılmıştır.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF2 bileşenlerine ilişkin TDIC katsayılarının genel yapısı IMF1 bileşenlere ilişkin katsayılarla benzerlik göstermektedir. Kasım 1997 tarihine kadar olan dönemde korelasyon negatif ve şiddeti çok düşük olmakla birlikte hafif düşme eğilimi göstermektedir. Kasım 1997 tarihinde korelasyon katsayısı yaklaşık -0,01 seviyelerindedir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde Aralık 1996 - Ekim 1997 dönemindeki korelasyon katsayısı -0,14 olarak tespit edilmiş olup azalış eğiliminde etkili olabilir. Kasım 1997 tarihinden sonra şiddetli bir artış meydana gelmiştir. Aralık 1997 dönemi itibariyle korelasyon katsayısı 0,10 olarak tespit edilmiştir ve söz konusu hızlı artış eğiliminde korelasyon katsayısı 0,49 olan 1997 yılının son çeyreği etkili olabilir. Aralık 1997 tarihinden itibaren pencere genişletilmeye devam edildiğinde ise korelasyon katsayısında yüksek bir değişim görülmemiştir, dolayısıyla bileşenlerin tüm periyodu için korelasyon katsayısı yaklaşık 0,10 düzeyinde hesaplanmıştır. Son yılları kapsayacak şekilde pencere daraltılmaya başlandığında ise korelasyon katsayısında genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. Ekim

1997 - 2011 dönemi için korelasyon 0,14 olarak hesaplanmıştır ve söz konusu artışta korelasyon katsayısı 0,43 olan Nisan 1997 - Ağustos 1998 dönemi etkili olabilir. Ekim 1999 - 2011 döneminde korelasyon katsayısı 0,09 olarak hesaplanmıştır ve korelasyon katsayısı Ağustos 1998 - Ekim 2010 alt döneminde gerçekleşen -0,09 değerindeki korelasyon söz konusu düşüşte etkili olabilir. Pencerenin daraltılması sonucunda korelasyonda tekrar artış eğilimi gözlenmiştir ve özellikle Nisan 2004 - 2011 döneminde korelasyon 0,16 olarak hesaplanırken Mayıs 2010 - 2011 döneminde korelasyon 0,43 olarak hesaplanmıştır. Artış trendini en fazla etkilediği düşünülen alt dönemler ise sırasıyla 0,39; 0,27; 0,35 korelasyon değerlerine sahip Nisan 2004 - Eylül 2005, Haziran 2006 - Aralık 2007, Şubat 2008 - Eylül 2008 alt-dönemleridir. En yüksek korelasyon değeri, 2008 küresel finansal krizinde kırılma noktası olan Eylül 2008 döneminin hemen öncesinde ve krizin yoğunlaştığı 2010-2011 döneminde görülmüştür.

Oldukça dar pencereler kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde korelasyon katsayısındaki değişimin genel bir örüntüye sahip olmadığı, karmaşık yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dar pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde; Ocak 2005 tarihinden itibaren pozitif korelasyon değerlerinin yoğunlaştığı görülmektedir. 1992 yılının ilk çeyreğinde, 1993 yılının son çeyreğinde, 1995 yılının ikinci çeyreğinde, 1996 yılının birinci çeyreğinde, 2001 yılının ikinci yarısında ve 2002 yılının birinci çeyreğinde yaklaşık olarak 0,35 korelasyon değeri hesaplanırken Kasım 1997 - Mayıs 1998 döneminde ve 2005 yılının ikinci çeyreğinde 0,65 korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Haziran 2010 tarihinden itibaren ise korelasyon genel seviyesi 0,45 - 0,50 aralığında gerçekleşmiştir.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF3 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayılarında pencerenin ilk yıllardan itibaren genişletilmesiyle başlayan ve son yılları içerecek biçimde daraltıldığında da devam eden genel artış eğilimi dikkati çekmektedir. Pencere ilk yılları kapsayacak şekilde genişletilmeye başladığında korelasyon katsayısı yaklaşık -0,15 seviyesinden artmaya başlamış; Ocak 1997 tarihinden itibaren pozitif katsayılar elde edilmeye başlanmıştır. İlk

yıllarda görülen negatif korelasyon katsayılarının elde edilmesinde korelasyon katsayısı -0,48 olan 1992 yılının ilk yarısı etkili olabilir. En geniş pencere kullanılarak bileşenin tüm periyodu için korelasyon yaklaşık 0,13 olarak hesaplanmıştır. Pencere son yılları içerecek şekilde daraltılmaya başladığında ise korelasyon katsayısındaki artış eğilimi devam etmiştir. Mayıs 1994 - 2011 ve Haziran 1998 - 2011 dönemlerinde korelasyon katsayısı sırasıyla 0,17 ve 0,22 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu dönemlerde görülen artış eğiliminde korelasyon katsayısı 0,32 olan Haziran 1995 - Aralık 1997 alt dönemi ile 0,37 ve 0,26 korelasyon katsayısına sahip Mart 1998 - Temmuz 1999, Ocak 2000 - Aralık 2001 alt dönemleri etkili olabilir. Korelasyon değerlerindeki artış eğilimi 2003 yılından itibaren hızlanmış olup Ocak 2004 - 2011 dönemi için 0,31 olarak hesaplanırken Mart 2006 - 2011 dönemi için 0,38; Aralık 2009 - 2011 dönemi için 0,44 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu dönemde artış eğiliminde korelasyon katsayısı yaklaşık 0,57 olan Şubat 2006 - Ekim 2007 dönemi etkili olabilir. Küresel finansal krizin yoğunluğunun arttığı dönem aralığına yaklaştıkça korelasyonda yükseliş görülmektedir.

Dar pencereler kullanılarak kısa dönemli ilişkiyi ifade eden korelasyon katsayıları dikkate alındığında, bazı dönemler korelasyon katsayısındaki yükseklik bakımından dikkati çekmektedir. 1992 yılının ilk çeyreğinde korelasyon -0,40 olarak hesaplanırken 1992, 1993 ve 1995 yıllarının ikinci yarısında korelasyon katsayıları 0,5 düzeyinde hesaplanmıştır. 1996 ve 1997 yıllarında korelasyon katsayısında önemli değişiklikler meydana gelmiştir. 1996 yılının ikinci yarısında korelasyon katsayısı 0,48 olarak hesaplanırken 1997 yılında korelasyon -0,21 düzeyine inmiştir. Söz konusu dönemlerde piyasaların kendine has dinamiklerinden kaynaklanan istikrarsızlıkların yanında Asya finans krizi gibi küresel etkileri olan krizler yaşanmıştır. Dolayısıyla, kaotik ortamın yanında piyasaların kendine has dinamiklerinin de fiyat hareketinde etkili olduğu söylenebilir. 1998 yılının üçüncü çeyreğiyle 1999 yılının birinci çeyreği arasındaki dönemde korelasyon katsayısı 0,40 düzeyindedir. 2006 yılının birinci yarısı ile 2007 yılında korelasyon katsayısı 0,70 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu dönem, 2008 küresel finansal krizinin hemen öncesine denk gelmektedir. 2003 ve 2010 yıllarının ortalarında ise korelasyon yaklaşık -0,45 ve -0,70 düzeyinde meydana gelmiştir

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF4 bileşenlerine ilişkin TDIC katsayıları incelendiğinde ise bileşenlerin ilk yıllardan itibaren pencere genişletildiğinde katsayıların Mart 2008 tarihine kadar -0,22 düzeylerinden artarak pozitif 0,01 düzeyine çıktığı görülmektedir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde -0,41 korelasyon değerine sahip Mart 1991 - Ocak 1994 alt dönemi ile 2000 - 2005 yıllarındaki düşük değerlere sahip korelasyon yapısının negatif korelasyon değerlerinin elde edilmesinde etkili olabilir. Bileşenlerin tüm periyodu için korelasyon artarak 0,05 düzeyine çıkmıştır. Son yılları içerecek şekilde pencere daraltıldığında söz konusu artış eğiliminin özellikle 2007 yılından itibaren şiddetlendiği görülmektedir. Şubat 2001 - 2011, Mart 2007 - 2011, Nisan 2004 - 2011 ve Ocak 2010 - 2011 dönemlerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,16; 0,24; 0,29 ve 0,40 olarak hesaplanmıştır. 2007 - 2011 dönemine ilişkin alt periyotlar dikkate alındığında korelasyon katsayısı sırasıyla 0,39 ve 0,57 olan Ocak 2008 - Temmuz 2009 ile Ağustos 2004 - Temmuz 2007 dönemleri dikkati çekmektedir. 2008 küresel finansal krizini öncesi dönemde görülen yüksek korelasyon, krizin öncü göstergeleri arasında yer alabilir. Oldukça dar pencereler kullanılarak elde edilen ve kısa dönemli ilişkileri ifade eden korelasyon katsayıları incelendiğinde ise genel olarak 1997 - 1999 yılının üçüncü çeyreğinde -0,35 düzeyinde korelasyon değerleri görülmektedir. Ayrıca Şubat 2002 - Temmuz 2003 ile Ağustos 2009 - Mayıs 2010 döneminde -0,20 düzeyinde korelasyon tespit edilmiştir. Pozitif ve kısa dönemli korelasyonlara sahip dönemler ise 0,21 korelasyon değeri ile Mayıs 1994 - Mayıs 1995 dönemi, 0,38 korelasyon değerine sahip 1996 yılı, 0,43 korelasyon ile Mart 1998 - Şubat 1999 dönemi ve 0,31 korelasyon katsayısına sahip 2004 yılıdır.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF5 bileşenlerine ilişkin olarak pencerenin ilk yıllardan itibaren genişletilmesi sonucunda korelasyon katsayısının 1996 sonuna kadar -0,04 - -0,06 aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde korelasyon katsayısı -0,32 olan Şubat 1996 - Ocak 1996 alt dönemi ile özellikle korelasyon katsayısı -0,50 olan Ocak 1994 - Şubat 1995 alt dönemleri korelasyonun negatif olmasında etkili olabilir. Ayrıca söz konusu dönemde korelasyon katsayısı 0,42 olan 1993 yılı dikkati çekmektedir. 1996 yılından itibaren pencere genişletilmeye devam ettiğinde Eylül

2000 dönemine kadar korelasyon katsayısının artarak 0,08 düzeyinde seyrettiği tespit edilmiştir. Bu dönem ayrıntılı incelendiğinde ise korelasyon katsayıları sırasıyla 0,39 ve 0,50 olan Nisan 1998 - Ocak 2001 ve Nisan 1998 - Eylül 1999 alt dönemleri pozitif korelasyon elde edilmesinde etkili olabilir. Özellikle ikinci dönem, 1997 Asya krizi sonrasına denk gelmektedir ve gelişmekte olan ülkelerdeki baskının artması ile açıklanabilir. 2000 yılının üçüncü çeyreğinden itibaren korelasyon katsayısındaki artış hızlanmıştır ve pencere genişletildikçe elde edilen korelasyon katsayılarının 0,12 - 0,20 aralığında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Söz konusu artış eğiliminin büyük ölçüde Nisan 1998 - 2011 döneminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Pencerenin son yılları içerecek biçimde daraltılması sonucunda korelasyon değerlerinde genel bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Özellikle Nisan 1994 - 2011 dönemi ve sonrasında pencerenin daraltılması sonucu elde edilen korelasyon katsayıları 2001 - 2011 dönemine kadar 0,30 düzeyinde seyretmiştir. korelasyon değerinde 2002 - 2011 döneminde hafif bir düşüş gözlenmiştir. Söz konusu azalma incelendiğinde, korelasyon katsayıları sırasıyla -0,18 ve -0,47 olan Kasım 2002 - Ocak 2008 ve Ocak 2003 - Şubat 2006 alt dönemleri etkili olabilir. Mayıs 2002 tarihi sonrasında pencerenin daraltılmasıyla elde edilen korelasyon değerlerinde tekrar artış eğilimi gözlenmiştir ve 2004 - 2011 döneminde ve sonrasında genel olarak korelasyon katsayısı 0,30 seviyesinin üzerinde gerçekleşmiştir. Korelasyon değerindeki artışta dikkat çeken dönemler sırasıyla, yaklaşık 0,45 korelasyona sahip Mart 2006 - 2011 ve Mayıs 2008 - 2011 dönemleri, 0,50 korelasyona sahip Nisan 2009 - 2011 dönemi ile 0,87 korelasyona sahip 2010 - 2011 dönemi olmaktadır. En yüksek korelasyon değerine, küresel finansal krizin etkilerinin yön değiştirdiği (konut piyasası krizinden ülke borç krizine) bir dönemde ulaşılmıştır. Kasım 2008 - 2011 döneminde korelasyondaki ani ve hafif şekilde azalarak 0,27 seviyesinde tespit edilmiş olup -0,10 korelasyon katsayısına sahip Mart 2009 - Şubat 2010 alt döneminin söz konusu korelasyon değerinin elde edilmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Dar pencereler kullanılarak elde edilen ve kısa dönemli ilişkileri gösteren korelasyon katsayıları incelendiğinde; Korelasyon katsayıları yaklaşık 0,40 olan Ocak 1993 - Şubat 1994, Haziran 1996 - Nisan 1997 dönemleri, Korelasyon katsayısı

0,50 olan Nisan 1998 - Ağustos 1999 dönemi, korelasyon katsayısı 0,88 ve 0,63 olan Mayıs 2000 - Ekim 2001, Şubat 2006 - Eylül 2007 dönemlerinde pozitif ve güçlü ilişki tespit edilmiştir. Özellikle Mayıs 2000 sonrası dönemde 2000 krizinden çıkış amaçlı uygulanan makroekonomik istikrar politikalarının etkili olduğu ifade edilebilir. Korelasyon katsayıları sırasıyla -0,40 olan Eylül 1992 - Mart 1993 ve Mart 1994 - Mart 1995 dönemleri ile korelasyon katsayısı 0,65 olan 2004 ve 2005 yılları da dikkati çekmektedir. Küresel likiditenin bol olduğu dönemde yüksek korelasyon beklenen bir bulgudur. Bu dönemde, yabancı finansal sermayenin gelişmiş ve gelişmekte olan ülke piyasalarına giriş-çıkışı olağandır.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF6 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde Haziran 1994 öncesinde korelasyon değerlerinin negatif olduğu görülmektedir. Korelasyon, pencere genişletildiğinde -0,31 düzeyinden hızla artarak pozitif hale gelmiş ve 2008 yılına kadar olan dönemde 0,30 - 0,40 aralığında yer almıştır. Negatif korelasyona ilişkin olarak alt periyotlar incelendiğinde korelasyon katsayıları sırasıyla -0,31 ve -0,41 olan 1991 - Kasım 1993 ve Ekim 1991 - Aralık 1993 dönemlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Şubat 2008 dönemindeki pozitif korelasyon yapısıyla ilgili olarak alt dönemler incelendiğinde; korelasyon katsayısı 0,60 değerinin üzerinde gerçekleşen Haziran 1992 - Aralık 1998, Nisan 2000 - Aralık 2007 dönemleri ile korelasyon katsayısı 0,85 değerinin üzerinde seyreden Temmuz 1993 - Haziran 1996, Ocak 2004 - Kasım 2006 dönemleri etkili olabilir. Söz konusu yüksek korelasyon, 1994 krizi ve 2000 krizi sonrası uygulanan makroekonomik politikalar sonucunda oluşan ekonomik ve finansal istikrarın sağlandığı dönemde gerçekleşmiştir. Şubat 2008 sonrası dönemde korelasyon değerinde hafif şiddetli bir düşüş meydana gelerek bileşenin tümü için korelasyon 0,30 olarak tespit edilmiştir. Bu dönemde oluşan düşük korelasyon, 2008 küresel finansal krizine bağlı olarak küresel finansal piyasalardaki yön belirsizliğinden kaynaklanabilir. Söz konusu düşüşte korelasyon katsayısı 0,05 olarak tespit edilen Eylül 2006 - Mayıs 2010 dönemi ile korelasyon katsayıları sırasıyla -0,28 ve -0,53 olan Kasım 2008 - 2011 ve Ekim 2008 - Nisan 2010 dönemleri etkili olabilir. Pencere son yılları içerecek biçimde daraltıldığında 2000 - 2011 dönemi için korelasyon katsayısı 0,36 olarak tespit edilirken Eylül 2001 - 2011 dönemi için

korelasyon 0,41 olarak tespit edilmiştir. Eylül 2001 sonrası dönemde korelasyon katsayısında düşüş görülmekte olup 2003 - 2011 dönemleri için korelasyon 0,24 olarak hesaplanmıştır. 2007 - 2011 dönemi için korelasyon -0,02 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca korelasyon katsayısı 0,50 olan Mart 2009 - Ocak 2011 dönemi de dikkate alındığında 2009 sonu - 2011 arasındaki dönemin korelasyon değerleri açısından oldukça dalgalandığı sonucuna varılabilir. Bu bulgu, söz konusu dönemde küresel finansal piyasalardaki belirsizlik ile açıklanabilir. Bununla birlikte 2003 yılından itibaren küresel istikrarsızlığın etkileri piyasa hareketlerine yansıdığı sonucunda da ulaşılabilir. Ayrıca, 1994 - 2008 arasındaki dönemde korelasyon değeri genel olarak 0,50 düzeyinde hesaplanmıştır. 1999 - 2001 döneminde -0,21 olarak hesaplanan korelasyon katsayısı dikkati çekmektedir. Bu durum küresel etkisi olan finansal krizlerin piyasalarda etkili olabilecek dinamikleri etkilediklerine ilişkin bir bulgu olarak değerlendirilebilir.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF7 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde 1999 yılının birinci çeyreğine kadar olan dönem için yaklaşık 0,40 değerinde oldukları görülmektedir. 1999 yılının ikinci çeyreğinden itibaren pencere genişletildiğinde korelasyon hızla 0,20 seviyesine düşmüş ve 2009 yılına kadar korelasyon değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. 2009 yılının sonlarında korelasyonda hızlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. Özellikle Mart 2010 tarihinde korelasyon 0,36 seviyesine çıkmıştır. Söz konusu artış, korelasyon katsayısı 0,40 seviyesinde olan Temmuz 2000 - 2011 döneminden kaynaklanabilir. Bileşenlerin tümü için korelasyon ise 0,26 olarak hesaplanmıştır. Pencere son yılları içerecek şekilde daraltıldığında ise korelasyonda genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. 2000 - 2011 döneminde korelasyon 0,33 olarak hesaplanırken 2002 - 2011 ve 2007 - 2011 döneminde korelasyon değerlerinde artış meydana gelmiş ve söz konusu değerler sırasıyla 0,40 ve 0,50 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon değerleri incelendiğinde bazı dönemler dikkati çekmektedir. Özellikle korelasyon katsayıları sırasıyla 0,78 ve 0,34 olan 2006 - 2011 ile 2001 -- 2007 dönemlerinde korelasyon yüksek seyretmiştir. İlk dönemde görülen yüksek korelasyon, 2008 küresel finansal kriz döneminin tamamını kapsamaktadır. Bu nedenle, yüksek korelasyon küresel finansal krizle eşdeğer olabilir. Mayıs 2004 -

Mayıs 2006 ile 1999 - 2001 dönemlerinde ise korelasyon -0,20 düzeyinde seyretmiştir.

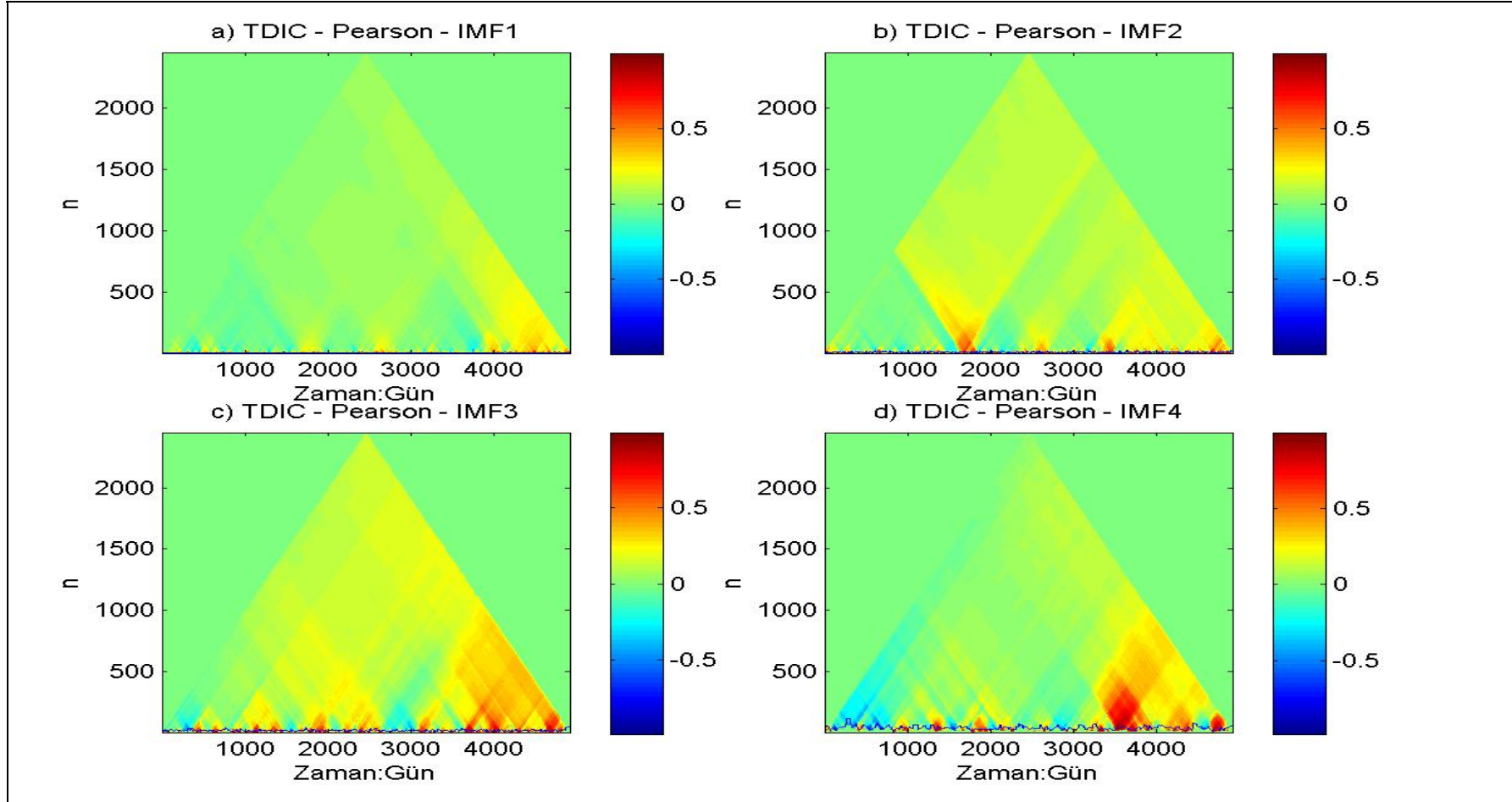
Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF8 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde ilk yıllardan itibaren pencerenin genişletilmesi sonucunda elde edilen değerler ile en geniş pencere kullanılarak elde edilen korelasyon değerinin tümünün -0,40 - -0,45 aralığında yer aldığı görülmektedir. Pencere son yılları içerecek şekilde daraltıldığında ise 1992 yılının sonuna kadar elde edilen tüm korelasyonlar da -0,40 seviyesindedir. 1993 yılından itibaren korelasyon değerleri artmaya başlamıştır ve Eylül 1994 - 2011 döneminde korelasyon katsayıları pozitif hale gelmiştir. 1995 - 2011 dönemine ilişkin korelasyon değeri hızla artarak 0,20 seviyesine çıkmıştır. Söz konusu artış incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,35 olan 1995 - 2000 alt döneminden kaynaklanma olasılığı yüksektir. Mart 1999 tarihinden itibaren pencere daraltıldığında ise 2010 yılı sonlarına kadar korelasyon katsayısı yaklaşık 0,03 - 0,05 aralığında seyretmiştir. 2000 yılı sonunda ise korelasyon katsayısında hızlı bir artış meydana gelmiş olup 2001 - 2011 dönemi için korelasyon 0,30 seviyesinde gerçekleşmiştir. Daha kısa dönemler dikkate alındığında korelasyon değerlerinin yaklaşık 0,20 - 0,30 aralığında yer aldığı görülmektedir. Son olarak, dikkat çeken diğer bir dönem ise korelasyon katsayısı yaklaşık olarak 0,40 olarak hesaplanan Kasım 2001 - Ekim 2009 dönemidir. Bu dönem, 2000 krizi sonrası sağlanan makroekonomik istikrarı, küresel likidite bolluğunu ve 2008 küresel finansal krizi içermektedir.

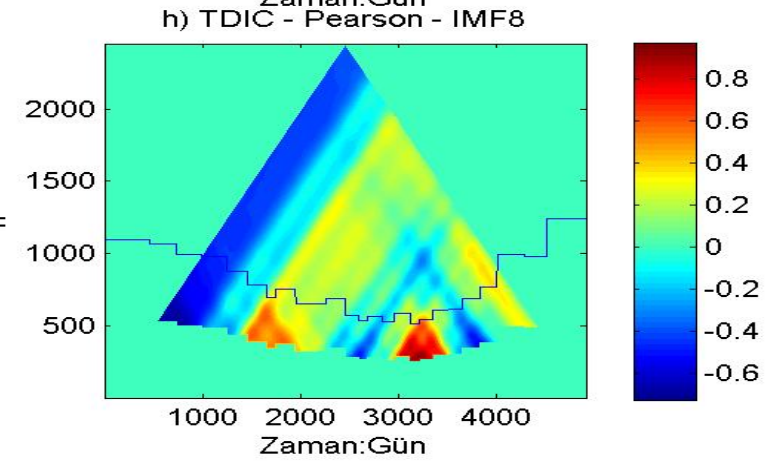
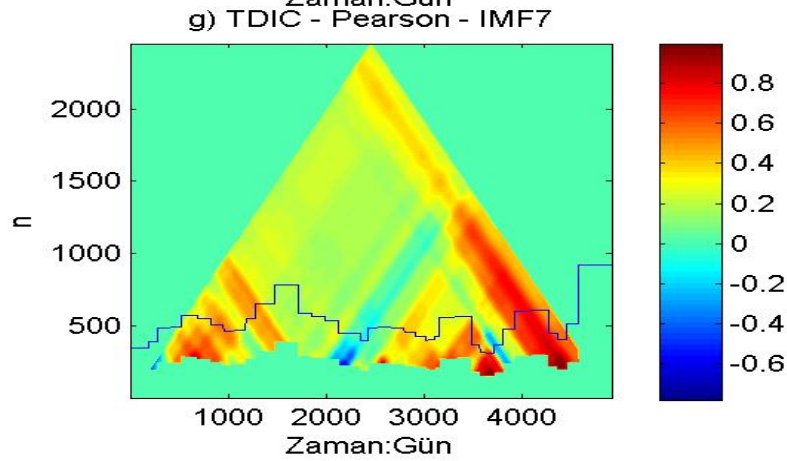
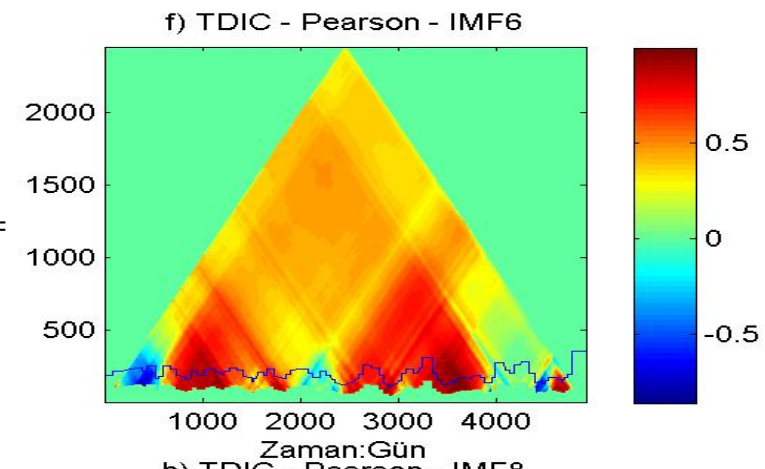
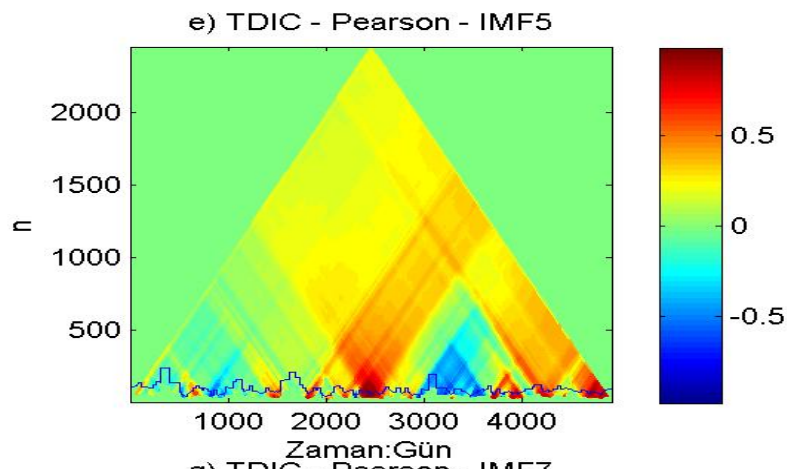
Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF9 bileşenlerine ilişkin katsayılar incelendiğinde ilk yıllardan itibaren pencerenin genişletilmesi sonucunda elde edilen korelasyonların tamamının -0,30 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Dolayısıyla, bileşenlerin tüm dönemi için de korelasyon -0,30 olarak tespit edilmiştir. Pencere, son yılları içerecek şekilde daraltıldığında ise korelasyon katsayılarının 1997 yılı sonuna kadar olan dönemde -0,10 - -0,30 aralığında yer aldığı görülmektedir. 1997 yılının sonundan itibaren korelasyon değerlerinde hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Kasım 1997 - 2011 dönemine ilişkin korelasyon katsayısı -

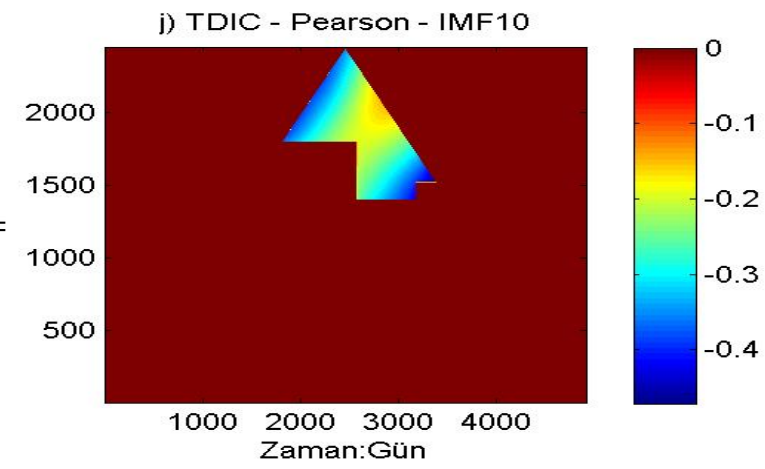
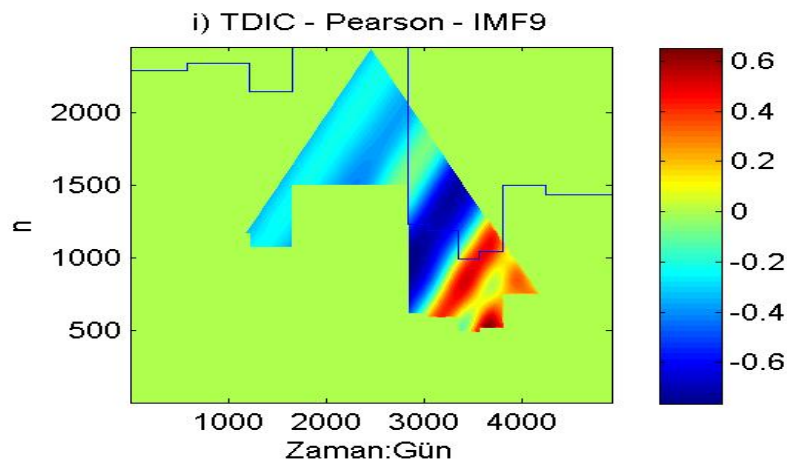
0,50 olarak hesaplanırken Kasım 1998 - 2011 dönemine ilişkin korelasyon katsayısı azalarak -0,70 düzeyinde gerçekleşmiştir. Pencerenin daraltılmaya devam edilmesi sonucunda 1999 yılından itibaren korelasyon katsayısının artmaya başladığı görülmüştür ve Eylül 2000 - 2011 döneminde korelasyon pozitif hale gelmiştir. Eylül 2000 sonrasında korelasyonda hızlı bir artış gözlenmiş ve Temmuz 2001 - 2011 döneminde korelasyon 0,40 seviyesine çıkmıştır. Temmuz 2001 - 2011 dönemi sonrasında daha kısa dönemler için korelasyonun azalarak 0,10 - 0,30 aralığında yer aldıkları gözlenmiştir. Bu dönemde, 2008 küresel finansal krizin etkilerinin nispeten azaldığı ve yön değiştirdiği görülmektedir.

Piyasa endekslerinin Model1 kullanılarak elde edilen IMF10 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayısı incelendiğinde korelasyon katsayılarının tümünün negatif olduğu görülmektedir. Pencerenin ilk yılları kapsayacak şekilde genişletilmesi sonucunda elde edilen tüm korelasyon katsayıları -0,35 - -0,40 aralığında gerçekleşmiştir. Pencerenin son yılları kapsayacak şekilde daraltılması sonucunda korelasyon artma eğilimi göstermiş ve 1994 - 2011 döneminde -0,15 seviyesine yükselmiştir. 1994 sonrası dönemde ise korelasyon tekrar azalmaya başlamış, 1996 - 2011, 1997 - 2011 ve 1998 - 2011 dönemlerinde korelasyon katsayıları sırasıyla -0,20; -0,30 ve -0,40 seviyelerine inmiştir. Sonraki dönemde ise korelasyonda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Dolayısıyla, en uzun dönemli salınımlar genel olarak farklı bileşenlerin etkisi altında meydana gelmiş olabilir. Bununla birlikte krizler gibi önemli olayları negatif korelasyon değerlerinin düşmesinde etkili olma ihtimali bulunmaktadır.

Şekil 19 : TDIC Pearson Katsayıları - Model1







3.5.2. Model2 Sonuçları

Şekil 20, Model2 kullanılarak elde edilen S&P 500 ve İMKB 100 bileşenleri arasındaki TDIC Pearson katsayılarını göstermektedir. Ortalama frekans değerleri ve elde edilen IMF sayılarının aynı olmasından ötürü iki endeksin bileşenleri arasındaki korelasyon değerleri yüksek frekanslı bileşenlerden başlayarak düşük frekanslı bileşenlere doğru bileşen çiftleri halinde hesaplanmıştır. Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF1 bileşenlerine ilişkin TDIC katsayıları genel olarak incelendiğinde korelasyon katsayısının dönemsel farklılıklar içerdiği gözlenmektedir. Korelasyon katsayısındaki söz konusu farklılıklar özellikle dar pencere kullanıldığında daha belirgin hale gelmektedir. Geniş pencere kullanıldığında ise elde edilen korelasyon katsayısı düşük seviyede gerçekleşmiştir. Örneğin, 1994 yılı başına kadar olan bileşenler için korelasyon katsayısı 0,01 olabilir. 1998 başına kadar olan dönem için korelasyon katsayısı ise -0,05 olarak hesaplanmıştır. 1999 sonunda ise korelasyon katsayısı 0,09 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, Kasım 2000 krizinin diğer krizlere göre daha güçlü olduğunu ifade edebilir. Geniş pencerelerde de korelasyon katsayısı değişkenlik göstermekte ancak değişim düşük olmaktadır. Bileşenin son dönemlerini içeren pencereler daha yüksek korelasyon katsayısı tespit etmiştir. Örneğin, 2000 - 2011 dönemi için korelasyon 0,13; 2006 - 2011 dönemi için korelasyon 0,20; 2009 - 2011 dönemi için korelasyon katsayısı 0,25 olarak hesaplanmıştır. 2008 küresel finansal krizin tepe noktaya ulaştığı 2009 ve etkilerinin hızla yayıldığı 2011 yıllarına ilişkin bu bulgu olağandır. Ayrıca korelasyon katsayısının değişkenliği açısından iki dönem dikkat çekicidir: 2008 yılının ikinci yarısı ile 2010 yılının ikinci yarısını kapsayan dönem için korelasyon katsayısı 0,25 olarak tespit edilmiştir. Bu dönem, 2008 küresel finansal krizinin hızla yayıldığı ve beklenmedik şokların ve büyük belirsizliklerin ortaya çıktığı bir dönemdir. 2005 yılının ikinci yarısı ile 2007 yılı başı arasında kalan dönem için korelasyon katsayısı ise -0,11 olarak gerçekleşmiştir. Pencere genişliğinin çok dar tutulduğu durumlarda korelasyon katsayısının oldukça değişken olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, oldukça yüksek frekanslı temsil eden bileşenlerde dar pencere değerlerine daha önem kazanmakta olup söz konusu değerler oldukça değişken nitelik göstermektedir. Örneğin Haziran 2006 - Temmuz 2006 dönemi için

korelasyon -0,52 olurken Temmuz 2009 - Ağustos 2009 dönemi için korelasyon 0,75 olmaktadır. Bu bulgu, 2009 yılının küresel kriz açısından önemine işaret edebilir.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF2 bileşenlerine ilişkin TDIC katsayılarının genel yapısı IMF1 bileşenlere ilişkin katsayılarla benzerlik göstermektedir. Kasım 1997 tarihine kadar olan dönemde korelasyon negatif ve şiddeti çok düşük olmakla birlikte hafif düşme eğilimi göstermektedir. Kasım 1997 tarihinde korelasyon katsayısı yaklaşık -0,03 seviyelerindedir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde Aralık 1996 - Ekim 1997 dönemindeki korelasyon katsayısı -0,17 olarak tespit edilmiş olup azalış eğiliminde etkili olabilir. Kasım 1997 tarihinden sonra şiddetli bir artış meydana gelmiştir. Aralık 1997 dönemi itibariyle korelasyon katsayısı 0,21 olarak tespit edilmiştir ve söz konusu hızlı artış eğiliminde korelasyon katsayısı 0,49 olan 1997 yılının son çeyreği etkili olabilir. Nitekim, bu dönem, Asya krizinin etkilerinin hızla arttığı bir dönemdir. Aralık 1997 tarihinden itibaren pencere genişletilmeye devam edildiğinde ise korelasyon katsayısı Eylül 1998 döneminde artarak 0,26 değerini almıştır; sonrasında ise azalma eğilimi göstermiş ve tüm periyodu içine alan en geniş pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayısı ise 0,12 olarak tespit edilmiştir. Son yılları kapsayacak şekilde pencere daraltılmaya başlandığında ise korelasyon katsayısında genel bir artış eğilimi gözlenmiştir. Ekim 1997 - 2011 dönemi için korelasyon 0,14 olarak hesaplanmıştır ve söz konusu artışın meydana gelmesinde korelasyon katsayısı 0,43 olan Nisan 1997 - Ağustos 1998 dönemi etkili olabilir. Bu dönemde, Asya krizinin etkileri yoğunlaşmıştır. Ekim 1999 - 2011 döneminde korelasyon katsayısı 0,09 olarak hesaplanmıştır ve Ağustos 1998 - Ekim 2010 alt döneminde gerçekleşen -0,09 değerindeki korelasyon söz konusu düşüşte etkili olabilir. Pencerenin daraltılması neticesinde korelasyonda tekrar artış eğilimi gözlenmiştir ve özellikle Nisan 2004 - 2011 döneminde korelasyon 0,16 olarak hesaplanırken Mayıs 2010 - 2011 döneminde korelasyon 0,43 olarak hesaplanmıştır. Artış eğilimini en fazla etkilediği düşünülen alt dönemler ise sırasıyla 0,39; 0,27; 0,35 korelasyon değerlerine sahip Nisan 2004 - Eylül 2005, Haziran 2006 - Aralık 2007, Şubat 2008 - Eylül 2008 alt-dönemleridir. Bu üç dönem, 2008 küresel finansal

krizin birikim dönemi ile küresel piyasalarda kırılma olarak adlandırılan Eylül 2008 dönemini kapsamaktadır.

Oldukça dar pencereler kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde korelasyon katsayısındaki değişimin genel bir örüntüye sahip olmadığı, karmaşık yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dar pencere kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları incelendiğinde; Ocak 2005 tarihinden itibaren pozitif korelasyon değerlerinin yoğunlaştığı görülmektedir. 1992 yılının ilk çeyreğinde, 1993 yılının son çeyreğinde, 1995 yılının ikinci çeyreğinde, 1996 yılının birinci çeyreğinde, 2001 yılının ikinci yarısında ve 2002 yılının birinci çeyreğinde yaklaşık olarak 0,35 korelasyon değeri hesaplanırken Kasım 1997 - Mayıs 1998 döneminde ve 2005 yılının ikinci çeyreğinde 0,65 korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Yüksek korelasyonun görüldüğü ilk dönem, Asya krizinin etkilerinin hızlandığı dönemi içerirken; ikinci dönem 2008 küresel finansal krizin birikim dönemi olarak ifade edilebilir. Haziran 2010 tarihinden itibaren ise korelasyon genel seviyesi 0,45 - 0,50 aralığında gerçekleşmiştir. Bu dönemde, 2008 küresel finansal krizin etkileri azalmakla birlikte bu etkilerin şekil değiştirmesi korelasyonu güçlü kılmaktadır.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF3 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları Kasım 1996 tarihine kadar -0,05 - +0,10 aralığında dalgalanmıştır. Söz konusu döneme ilişkin alt periyotlar incelendiğinde dalgalanmayı etkileyebilecek şiddetli korelasyona sahip dönemler tespit edilmiştir. 1992 yılının ikinci çeyreğinde korelasyon katsayısı -0,20 olarak tespit edilirken aynı yılın ikinci yarısında korelasyon katsayısı 0,38 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde 1993 yılının birinci çeyreğinde korelasyon katsayısı -0,18 olarak hesaplanırken 1993 dördüncü çeyreği ile 1994 yılının birinci çeyreğinde korelasyon 0,42 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, tam anlamıyla 1994 krizinin çıkışına işaret etmektedir. 1994 yılının ikinci yarısında ise korelasyon -0,29 olarak tespit edilmiştir. 1995 yılının ikinci yarısı ile 1996 yılında korelasyon sırasıyla, 0,52 ve 0,23 olarak tespit edilmiştir. ABD ekonomisinde mortgage piyasasından kaynaklanan piyasa stresi 1995 sonu ve 1996 yılında elde edilen korelasyon katsayısının nedeni olabilir.

Pencerenin genişletilmesi sonucunda 1997 yılına kadar olan dönem için korelasyonun hızla düşerek -0,10 düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir. Söz konusu düşüş korelasyon katsayısı -0,36 olan 1997 yılı alt döneminden kaynaklanmaktadır. 1999 yılı sonuna kadar olan dönem dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı hızla artarak 0,11 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu artış ise 0,32 korelasyona sahip olan Nisan 1998 - Temmuz 1999 döneminden kaynaklanmaktadır. 2000 yılından itibaren korelasyon katsayısında genel artış eğilimi görülmektedir ve bileşenlerin tüm periyodu için korelasyon yaklaşık olarak 0,17 değerini almıştır. Artış eğiliminde 2000 yılı sonrası dönemin etkili olabilir. Korelasyon penceresinin son yılları içerecek şekilde daraltılması sonucunda korelasyonun artmaya devam ettiği görülmektedir. Nisan 1997 - 2011 dönemi için korelasyon 0,19 olarak hesaplanırken Mart 2000 - 2011 ve Temmuz 2003 - 2011 dönemlerinde korelasyon sırasıyla 0,26 ve 0,36 olarak hesaplanmıştır. Son yılları içeren alt dönemler dikkate alındığında ise korelasyon katsayıları sırasıyla -0,16; 0,42 ve 0,54 olan Eylül 2002 - Eylül 2003, Eylül 2003 - Temmuz 2005 ve Mart 2006 - Temmuz 2008 dönemlerinde önemli korelasyon değişimleri meydana gelmiştir. Söz konusu ikinci dönem, 2008 küresel finansal krizinin birikim dönemini; üçüncü dönem ise, krizin başlangıç dönemini göstermektedir.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF4 bileşenlerine ait TDIC katsayıları incelendiğinde pencere genişletilmesiyle ortaya çıkan artış eğilimi görülmektedir. İlk yıllardan itibaren pencere genişletildiğinde 1996 yılının ilk yarısına kadar korelasyon katsayısının ortalama olarak -0,10 düzeyinde gerçekleşmiştir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde korelasyon katsayıları -0,30 düzeyinde gerçekleşen Nisan 1991 - Mart 1993 ve Şubat 1992 - Kasım 1994 alt dönemleri ile özellikle -0,42 korelasyona sahip Ekim 1992 - Ocak 1994 alt dönemleri korelasyonun negatif gerçekleşmesinde etkili olabilir. Ağustos 1996 tarihinde ise korelasyonda ani bir artış gözlenmiş olup Ağustos 1996 tarihine kadar olan dönem için korelasyon 0,10 düzeyine çıkmıştır ve Nisan 1997 tarihine kadar olan dönem için korelasyon 0,10 düzeyinde kalmıştır. Söz konusu artış ile ilgili olarak alt dönemler incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,41 olan Mart 1996 - Mart 1997 dönemi ve özellikle 0,52 korelasyon değerine sahip Şubat 1996 - Ekim 1996 alt

dönemleri etkili olabilir. Bu dönemler, 1994 krizi sonrası uygulanan makroekonomik politikaların yol açtığı ekonomik istikrar dönemi ile 1997 Asya krizini içermektedir. Gerek ekonomik istikrar ortamı gerekse Asya krizinin yarattığı belirsizlik yüksek korelasyona yol açmış olabilir. Pencere genişletilmeye devam edildiğinde ise korelasyon Haziran 1997 yılından sonra düşmüş ve 0,06 düzeyinde seyretmiştir. Bileşenlerin tümü için korelasyon 0,06 düzeyinde gerçekleşmiştir. Pencere son yılları kapsayacak biçimde daraltıldığında ise Eylül 2000 - 2011 dönemine kadar korelasyon 0,06 düzeyinde gerçekleşmiş olup özellikle Haziran 2001 - 2011 döneminde hızlı artış meydana gelmiş ve korelasyon 0,21 düzeyine çıkmıştır. 2003 - 2011 ve Eylül 2005 - 2011 dönemleri için korelasyon değerleri de sırasıyla 0,27 ve 0,34 olarak gerçekleşmiştir. Korelasyondaki artış trendi incelendiğinde özellikle korelasyon değeri 0,63 ve 0,79 olan Mart 2005 - Ocak 2006 ve Haziran 2005 - Ağustos 2006 alt dönemlerinin etkili olduğu görülmektedir. Bu dönemler, 2008 küresel finansal krizinin birikim yaptığı dönemlerdir. Eylül 2005 tarihinden itibaren pencere daraltıldığında ise korelasyon değeri 0,25 seviyesine inmiş ve Nisan 2009 dönemi kadar aynı seviyede kalmıştır. 2009 - 2011 döneminde korelasyon 0,12 değerine inmiş sonrasında ise 2010 - 2011 dönemine 0,22 seviyesine tekrar yükselmiştir.

Kısa dönemli ilişkiyi ifade eden dar pencerelere ilişkin korelasyon değerleri incelendiğinde ise korelasyon değeri 0,50 düzeyinde gerçekleşen Ağustos 2001 - Haziran 2002, Eylül 2008 - Ağustos 2009 ve Aralık 2009 - Eylül 2010 dönemleri ile korelasyon değerlerinin -0,50 düzeyinde gerçekleştiği Ekim 1998 - Eylül 1999, Şubat 2002 - Ocak 2003 dönemleri dikkati çekmektedir. İlk üç dönem, 2000 krizinin hemen sonrası ile 2008 küresel finansal krizin etkilerinin oldukça hızlandığı dönemleri içermektedir. Dolayısıyla, krizler ve öncesindeki dönemlerde bileşenler arasında karmaşık bir ilişki olduğu söylenebilir.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF5 bileşenlerine ilişkin katsayılar incelendiğinde, ilk yıllardan itibaren pencere genişletildiğinde katsayıların ani artış ve azalışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Nisan 1992 tarihine kadar olan dönemde korelasyon 0,48 olarak tespit edilirken Eylül 1993 dönemine

kadar olan dönemde ise korelasyon azalarak 0,08 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu azalış korelasyon katsayısı yaklaşık -0,15 olan Ocak 1992 - Ağustos 1993 alt dönemden kaynaklanmış olabilir. Pencere genişletildiğinde korelasyon Şubat 1994 dönemine kadar 0,03 düzeyinde seyretmiş olup sonrasında hızlı bir düşüş ile Ekim 1996 tarihine kadar olan dönem için -0,04 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu dönemdeki düşüş korelasyon katsayısı -0,36 olan Şubat 1994 - Aralık 1994 alt döneminden kaynaklanabilir. Kasım 1996 sonrasında pencere genişletildiğinde Kasım 1997 tarihine kadar olan dönemde korelasyon artarak 0,14 olarak hesaplanırken sonrasında ani bir düşüş meydana gelmiş ve Şubat 1998 tarihi itibarıyla korelasyon katsayısı -0,15 olarak tespit edilmiştir. Kasım 1999 tarihine kadar olan dönemde de korelasyon katsayısı -0,15 düzeyinde seyretmiştir. Söz konusu düşüş incelendiğinde Korelasyon katsayısı -0,39 olan Aralık 1997 - Kasım 1999 alt döneminin etkili olduğu görülmektedir. Sonrasında Eylül 2007 tarihine kadar olan dönemde korelasyon katsayısı yaklaşık olarak -0,02 seviyesinde seyretmiştir. Alt dönemler incelendiğinde 0,21 korelasyon katsayısına sahip Haziran 1998 - Ocak 2001 alt dönemi, -0,35 korelasyona sahip 2003 - 2006 alt dönemi ve 0,59 korelasyon katsayısına sahip Nisan 2004 - Ekim 2005 alt dönemi dikkati çekmektedir. Şubat 2008 tarihinden itibaren korelasyon katsayısında hafif bir artış meydana gelerek 0,07 düzeyine çıkmıştır ve tüm bileşenler için korelasyon katsayısı 0,07 olarak gerçekleşmiştir. Pencere son yılları içerecek şekilde daraltıldığında ise korelasyonda artış 0,14 katsayısına sahip olan 1998 - 2011 döneminden itibaren görülmeye başlanmıştır. 2002 - 2011 döneminde ise korelasyon katsayısındaki artış hızlanarak 0,30 düzeyinde çıkmıştır. 2008 - 2011 döneminde ise korelasyon katsayısı 0,54 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde ise korelasyon katsayısının 0,80 olarak hesaplanan Şubat 2008 - Haziran 2010 dönemi dikkati çekmektedir. Bu dönem, 2008 küresel finansal krizin etkilerinin yoğunlaştığı bir dönemdir. 2009 - 2011 döneminde korelasyon katsayısında ani ve kısa süreli düşüş meydana gelmiştir ve korelasyon yaklaşık 0,33 olarak tespit edilmiştir. Düşüş; 0,06 korelasyon sahip olan Mart 2009 - Şubat 2010 alt döneminden kaynaklanmaktadır. Diğer kısa dönemli ilişkiyi ifade eden korelasyon katsayıları dikkate alındığında; 0,36 korelasyon katsayısına sahip Ağustos 2002 - Ekim 2010 dönemi, korelasyon katsayısı -0,60 olan Ağustos 2004 - Temmuz 2005

dönemi, korelasyon katsayıları sırasıyla 0,72 ve 0,90 olarak hesaplanan Kasım 2006 - Temmuz 2007 ve Mart 2008 - Mart 2009 dönemleri diğer dikkat çeken dönemlerdir. 2008 küresel finansal krizi, Eylül 2008 (Lehman Brothers'ın iflası) öncesi ve sonrası olarak ikiye ayrılırsa, bu bulgu her iki alt dönem öncesinde oldukça yüksek korelasyona işaret etmektedir. Dolayısıyla, yüksek korelasyon finansal kriz göstergesi olabilir.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF6 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde katsayıların genel olarak Kasım 1999 yılına kadar 0,45 seviyesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Özellikle Ağustos 1998 ve Mayıs 1996 tarihlerinde korelasyon yükselerek 0,60 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu dönemler, 1997 Asya krizinin hemen öncesi ve sonrasına denk gelmektedir. Ayrıca Mart 1994 - Haziran 1996 döneminde korelasyon 0,80 seviyesinde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde, bu dönemler, 1994 krizi ve sonrasını işaret etmektedir. 2000 yılı tarihinden sonra pencere genişletilerek elde edilen korelasyon katsayılarının 0,15 - 0,20 aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Bileşenlerin tümü için korelasyon 0,18 olarak gerçekleşmiştir. Son yılları içerecek şekilde pencere daraltıldığında Haziran 2002 - 2011 döneminde korelasyonun hızla yükselerek 0,51 seviyesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu dönem, 2008 küresel finansal krizinin birikim yaptığı ve ortaya çıktığı bir dönemdir. Söz konusu dönem ayrıntılı incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,90 olarak hesaplanan Ocak 2006 - Kasım 2006 dönemi dikkat çekicidir. Bu dönem, Ağustos 1997 olan 2008 küresel finansal krizin başlangıcının hemen öncesidir. Ayrıca 2008 yılı sonundan itibaren korelasyon azalarak -0,12 seviyesinde gerçekleşmiştir. 1998 - 2004 döneminde de korelasyon genel olarak düşük seyretmiştir.

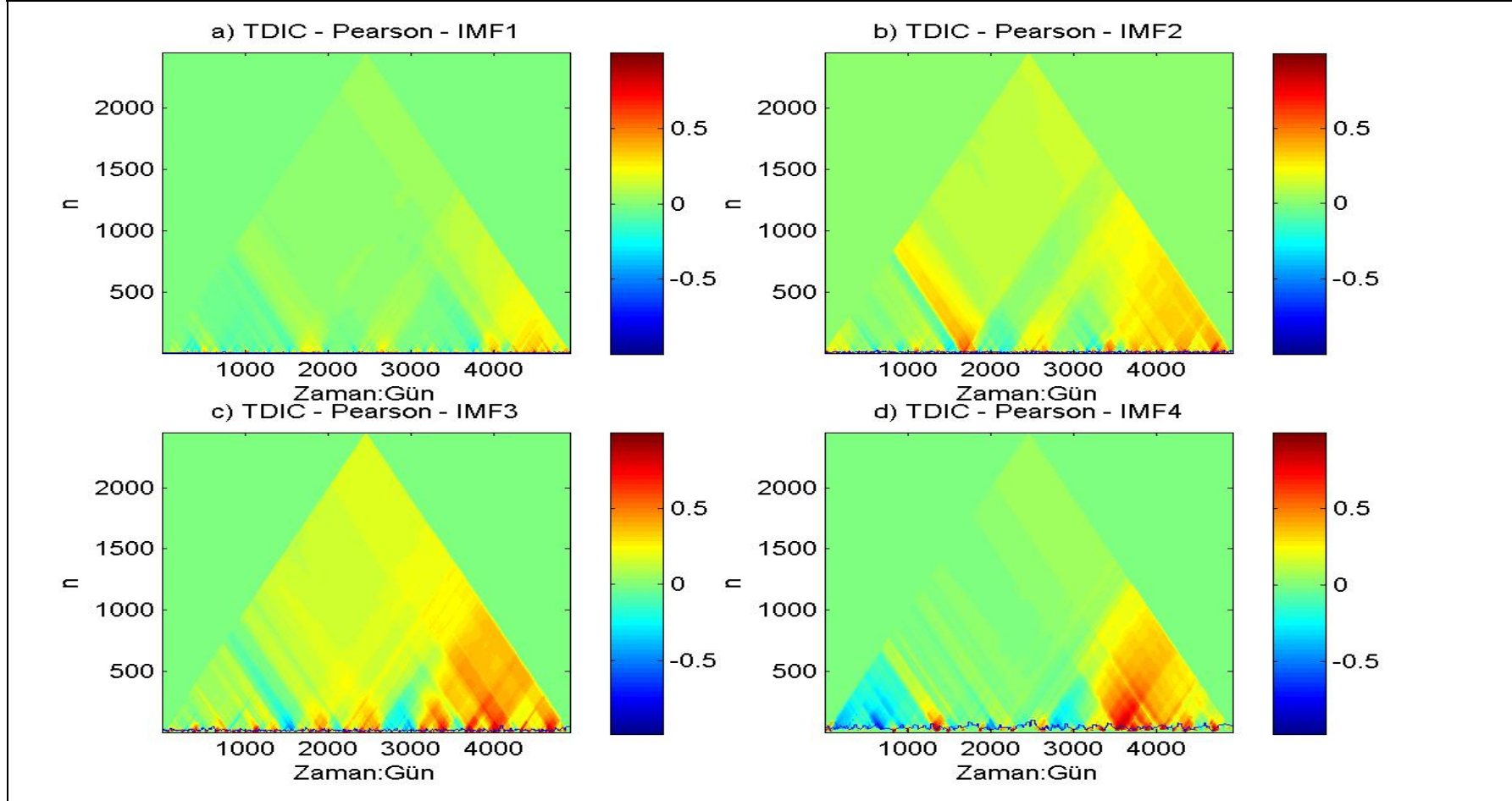
Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF7 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayılarının incelenmesi sonucunda 2000 yılına kadar korelasyon katsayılarının 0,20 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Söz konusu döneme ilişkin alt dönemler incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,80 olan 1998 - 2000 alt dönemi ile özellikle korelasyon katsayısı 0,94 olan 1996 - 1998 dikkati çekmektedir. Oldukça yüksek korelasyonun görüldüğü bu dönem, 1997 Asya krizini

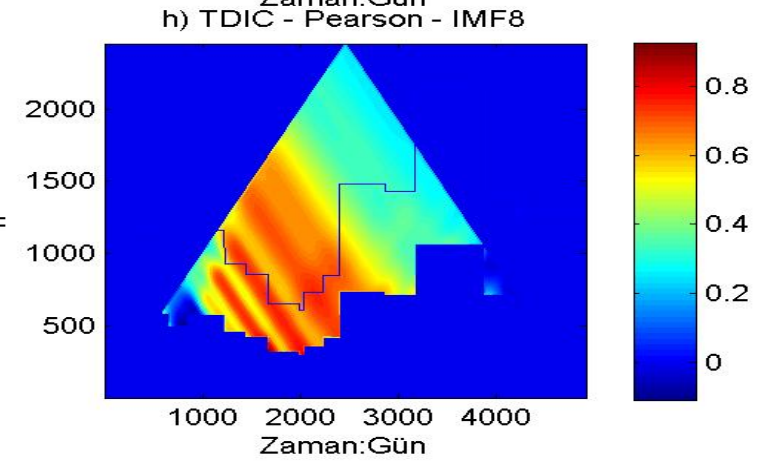
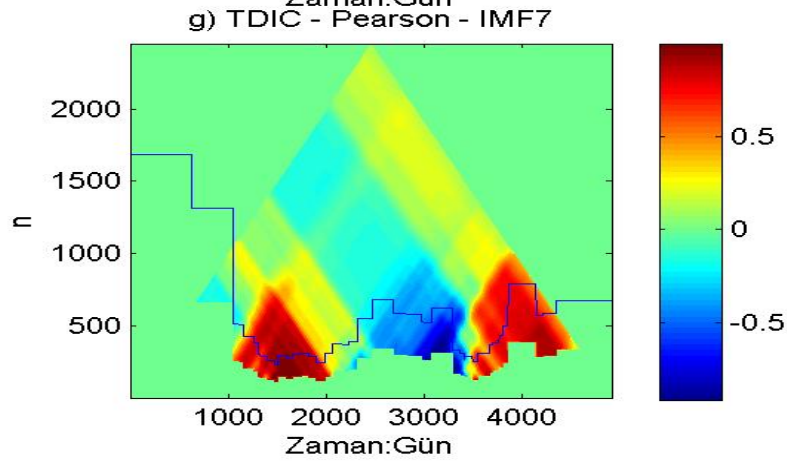
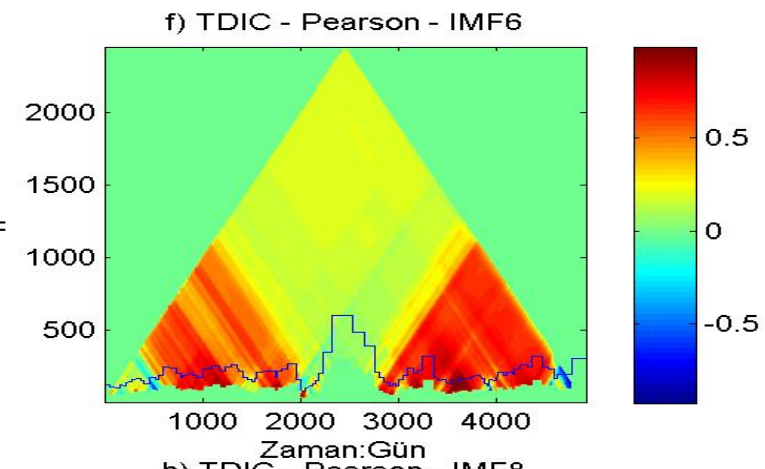
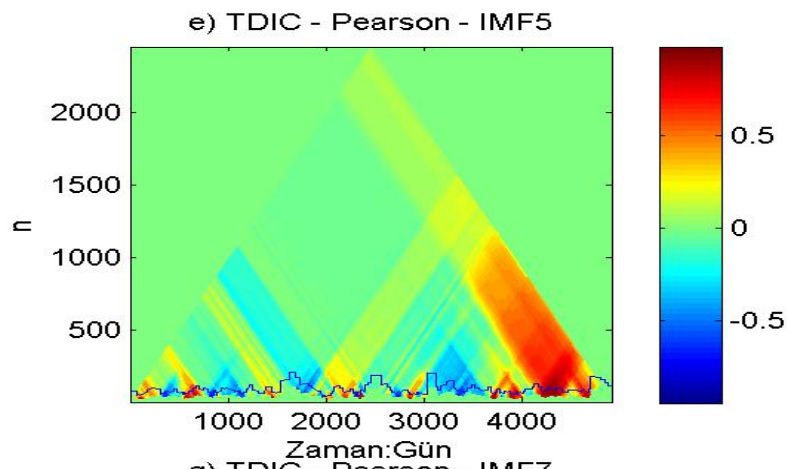
içermektedir. 2000 yılı itibariyle korelasyon katsayısı hızla 0,06 düzeyine inmiş ve 2002 yılının sonlarında kadar aynı seviyede kalmıştır. 2002 sonlarından itibaren korelasyon bir kez daha düşerek -0,15 seviyesine inmiş ve 2007 yılının ikinci yarısına kadar aynı seviyede kalmıştır. Söz konusu düşüş özellikle korelasyon katsayısı -0,66 olan Ocak 2002 - Haziran 2006 döneminden kaynaklanabilir. 2007 yılının ikinci yarısında korelasyon katsayıları hızla artmaya başlamış ve Mayıs 2010 tarihinde 0,17 seviyesine çıkmıştır. Bileşenlerin tümü için korelasyon hafif azalarak 0,11 seviyesinde gerçekleşmiştir. Son yılları kapsayacak biçimde pencere daraltılmaya başlandığında ise korelasyon katsayıları 2004 - 2011 dönemine kadar 0,15 seviyesinde gerçekleşmiştir. Pencerenin daha da daraltılması sonucunda 2003 - 2011 dönemi için korelasyon 0,42 olarak tespit edilmiş ve daha kısa pencereler için korelasyonda önemli bir değişiklik olmamıştır. Diğer dönemler incelendiğinde, özellikle korelasyon katsayıları 0,80 ve 0,90 olan Kasım 2004 - Mayıs 2010 ve Nisan 2006 - Mayıs 2010 dönemleri dikkat çekicidir. Bu dönemler, 2008 küresel finansal krizin öncesini ve kriz dönemini kapsamaktadır. Yüksek korelasyon finansal kriz açısından bir gösterge olabilir.

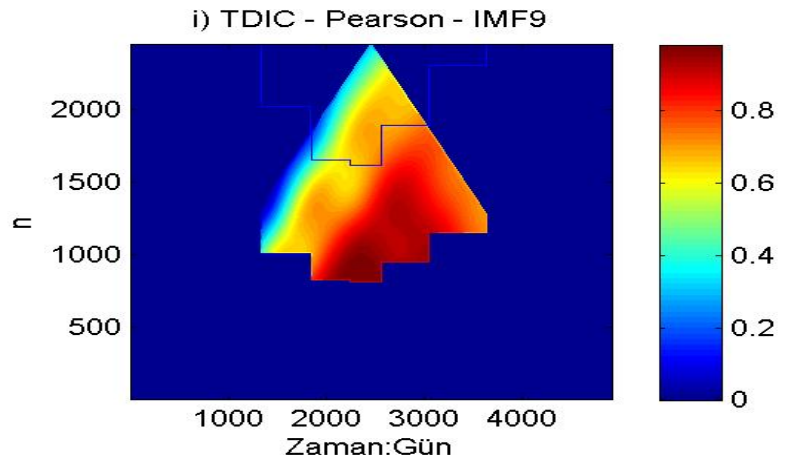
Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF8 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde korelasyon değerlerindeki önce artış sonra da azalış eğilimleri dikkati çekmektedir. Pencere ilk yılları içerek biçimde genişletilmeye başlandığında korelasyon katsayılarının yaklaşık 0,14 seviyesinden artarak Ekim 2002 tarihinde yaklaşık 0,66 değerine ulaştığı görülmektedir. Ekim 2002 sonrasında korelasyon değerleri azalmaya başlamıştır ve bileşenlerin tümü için korelasyon yaklaşık 0,26 seviyesinde gerçekleşmiştir. Pencerenin son yılları içerecek biçimde daraltılması sonucunda 2003 yılına kadar korelasyon değerlerinde önemli bir değişim meydana gelmemiş olup yaklaşık 0,25 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2003 - 2011 döneminde korelasyon değerinde düşüş meydana gelerek yaklaşık 0,09 düzeyinde hesaplanmıştır. 2003 yılının sonlarından itibaren korelasyon negatif hale gelmiş ve 2004 - 2011 ve daha kısa dönemler için korelasyon değerleri yaklaşık - 0,02 - -0,10 aralığında hesaplanmıştır.

Piyasa endekslerinin Model2 kullanılarak elde edilen IMF9 bileşenlerine ilişkin korelasyon katsayıları incelendiğinde pozitif genel artış eğilimi dikkati çekmektedir. İlk yıllardan itibaren pencere genişletilmesi sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları 0,02 seviyesinden artarak bileşenlerin tüm periyodu için 0,30 seviyesine yükselmiştir. Son yılları içerecek biçimde pencere daraltıldığında da genel artış eğilimi devam etmiştir. 1993 - 2011 dönemi için korelasyon 0,60 olarak hesaplanırken 1995 - 2011 döneminde korelasyon 0,70 seviyesine yükselmiştir. Bu dönem, 1994 krizinin etkileri, 1997 Asya krizi, 2000 krizi, 2002-2007 küresel likidite bolluğu gibi birçok önemli olayı içermektedir. Haziran 1996 - 2011 döneminde ise korelasyon 0,77 seviyesine yükselmiş; 1998 - 2011 döneminde ise korelasyon hafif şekilde azalarak 0,70 seviyesinde gerçekleşmiş olup daha kısa dönemlerde önemli bir değişim gerçekleşmemiştir. Son olarak, korelasyon katsayıları 0,92 ve 0,97 olan Eylül 1996 - Aralık 2007 ve Ağustos 1996 - Kasım 2004 dönemleri dikkat çekmektedir. Bu dönemler, ulusal/uluslararası krizlerin etkilerinin yoğun olarak yaşandığı dönemlerdir. Yüksek korelasyon kriz göstergesi olarak nitelendirilebilir.

Şekil 20: TDIC Pearson Katsayıları - Model2







SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde finansal piyasaların uygulamalı olarak analiz edilmesi oldukça karmaşık ve zor bir süreç halini almıştır. Sürecin karmaşıklığına sebep olan nedenler temel olarak iki gruba ayrılabilir. İlk olarak piyasaların işleyişinden ve küresel ekonomik sistemden kaynaklanan nedenler, analizi sürecini karmaşık hale getirmektedir. Finansal piyasalarda oldukça farklı güdülere sahip piyasa oyuncuları bir araya gelerek işlem yapmakta ve fiyat oluşum sürecini karmaşık hale getiren dinamikler meydana getirmektedirler. Ayrıca, finansal küreselleşme, piyasalar arasında hızlı ve kolay bilgi akışını sağlamakta; piyasa oyuncularının uluslararası piyasalarda hızla işlem yapmalarına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, piyasalar özellikle ekonomilere ilişkin bilgi akışına ve küresel şoklara daha açık hale gelmiştir. Bu durum finansal piyasaları; makro ölçekte farklı ülke piyasalarının, mikro ölçekte ise piyasa oyuncularının oluşturduğu karmaşık sistemin öğeleri haline getirmekle birlikte söz konusu sistemin dinamiklerine ışık tutabilecek bilgi kaynağı olan finansal fiyat verilerinin analizini karmaşık hale getirmektedir.

Finansal piyasalara ilişkin nedenler yanında veri analizine dayanan sorunlar dolayısıyla da finansal veri analizi karmaşık ve zor bir süreç haline gelmiştir. Öncelikle finansal fiyat verileri ne durağan ne de doğrusaldır; dolayısıyla bu özellikleri verilerin analiz edilmesini zorlaştırmaktadır. Durağan olmayan verilere geleneksel zaman serisi yöntemlerinin uygulanması istatistik açısından elde edilen sonuçların geçerliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, fiyat serilerinin analizinde, fiyat verileri getiri serisine dönüştürülerek durağan hale getirilmeye çalışılmaktadır. Ancak elde edilen getiri serisinin, fiyat serisinin içerdiği dinamikleri ne derece barındırdığı, diğer bir ifade ile getiri serisinin fiyat serisini temsil etme gücü, hala tartışılmaktadır. Bununla birlikte, getiri serisine dönüştürme işlemi finans bilimi açısından oldukça önemli ve yararlı bilgiler sunan trendi ve dalgalanmaları yok etmektedir. Ayrıca, fiyat serilerinin zaman boyutunda analiz edilmesi sırasında karmaşık yapıdaki dalgalanmalar ve trendin varlığı kalitatif olarak gözlenmekte; fakat söz konusu dalgalanmalar ve trend kantitatif olarak tespit edilip fiyat serisi bileşenlerine ayrılamamaktadır.

Bu çalışmanın temel konusu, yukarıda kısaca ifade edilen sorunları ortadan kaldıran gelişmiş yöntemler kullanılarak hisse senedi piyasalarının sahip olduğu ve fiyat oluşumunda etkili olan dinamikler ile birlikte doğrusal olmayan trendin ayrıştırılmasıyla hisse senedi piyasası işleyişini anlaşılır hale getirmektir. Dolayısıyla, bu çalışmada, hisse senedi piyasalarının karmaşık yapısına ışık tutmak hedeflenmektedir.

Bu çalışmada temel olarak Huang ve diğerleri (1998), Huang ve Wu (2008), Wu ve Huang (2009) tarafından geliştirilen "Hilbert - Huang Dönüşümü" (Hilbert - Huang Transformation - HHT) yöntemi kullanılmıştır. HHT yönteminin kullanılmasının temel amacı, HHT yönteminin oldukça gelişmiş ve eşsiz özelliklere sahip olmasıdır. HHT, durağan ve/veya doğrusal olmayan verilerde kullanılabilen gelişmiş bir yöntemdir. Ayrıca, veriyi zaman boyutu yerine frekans - zaman boyutunda inceleyerek verinin içerdiği karakteristik özelliklerin incelenmesini olanaklı kılar. HHT analizinin en önemli özelliği ise zamana bağlı değişen - anlık - frekans ve enerji değerlerinin hesaplanmasını olanaklı kılmasıdır.

HHT iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama "Ampirik Salınım Ayrıştırma" (Empirical Mode Decomposition - EMD) olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada seride saklı olan ve farklı frekanslara sahip bileşenler yüksek frekansa düşük frekansa doğru eğri fonksiyonları aracılığıyla ayrıştırılmaktadır ve elde edilen bileşenler İçsel Salınım Fonksiyonu (Intrinsic Mode Function - IMF) olarak adlandırılmaktadır. EMD diğer analiz yöntemlerinden farklı olarak ampirik bir yöntemdir. Dolayısıyla, her tür serinin dinamiklerini ortaya çıkaracak biçimde uyarlanabilir niteliktedir. Bu nedenle, uygulanabilmesi için doğrusallık ya da durağanlık varsayımları gerekli değildir. Uyarlanabilirlik özelliği sayesinde spektral ya da zaman serisi analizleri için gerekli olan kullanılacak temel fonksiyon seçimine ilişkin zorunluluk da ortadan kalkmaktadır. HHT yönteminin ikinci aşamasında ise elde edilen bileşen verileri kullanılarak anlık frekans verilerinin tahminlenmesi Hilbert dönüşümü aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. HHT, zaman - frekans analizi yöntemidir ve klasik zaman serisi analizinden - doğrusal olmayan trendin analizi ve durağan olmayan seriler için kullanılabilir olması nedeniyle - daha üstün niteliktedir.

Doğa bilimlerinde oldukça fazla kullanılan bir yöntem olan HHT analizi, özellikle ekonomi ve finans alanında oldukça yeni kullanılmaya başlayan bir yöntemdir. Yönteme ilişkin literatürün sahip olduğu sorunların en önemlisi finans verilerinin doğasının ve parametrelerde yapılacak değişikliğin analiz sonuçları üzerindeki etkilerinin yeterince incelemeksizin yöntemin doğrudan kullanılmasıdır. Söz konusu sorunlar ışığında bu çalışmada, literatürdeki eksikliklerin giderilmesini sağlayabilecek geliştirmelerin HHT yöntemi üzerine uygulayarak yöntemin sosyal bilimler literatüründe kullanılmasını artırmak ve bilime katkı sunmak hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, finansal fiyat serilerindeki üstel ve yüksek ivmeye sahip trend ile fiyat değişimlerinin oldukça düşük olduğu dönemlerin daha yüksek kesinlikle hesaplanması amacıyla normalleştirme sürecini temel alan "Direkt EMD Temelli Normalleştirme" ve "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" yöntemleri kullanılmıştır. Direkt EMD Temelli Normalleştirme modeli elde edilen bileşenlerin referans doğrusu olarak kullanılarak verinin normalleştirilmesine dayanırken Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme yöntemi normalleştirme sürecinde polinomlardan yararlanmaktadır.

Uzun dönemli şiddetli artış ya da azalışların ve şiddetli şokların yanında, oldukça düşük şiddetli ve kısa dönemli fiyat değişimlerini dikkate alan ve EMD yönteminin varyasyonu olan EEMD yönteminin yanında; farklı yaklaşımların bileşimini ifade eden "Geliştirilmiş EEMD - M-EEMD" yöntemi de kullanılmıştır. EEMD yöntemi veri setinde meydana gelen küçük değişimlerin daha etkin tahminlenebilmesi için gürültü serisinin kullanılmasına dayanmaktadır. M-EEMD yöntemi ise kullanılan gürültü serisinin nihai sonuçları bozucu etki göstermemesi ve ayrılan bileşenlerin ideal IMF özelliklerine sahip olmasını sağlamayı amaçlayan yaklaşımların bileşimini ifade etmektedir.

Ayrıca anlık frekans hesaplanmasına ilişkin son gelişmeler ışığında frekans ve enerji değerleri, bileşenlerin gerçek anlık frekansın hesaplanmasını sağlamasına dayanan "Normalleştirilmiş Hilbert Dönüşümü" (Normalized Hilbert Transform - NHT) kullanılmıştır. Bununla birlikte, anlık frekans değerleri, dikgen fonksiyonunun

kullanılmasına dayanan "Doğrudan Dikgen" (Direct Quadrature - QDR) yöntemi ve bileşendeki zirve, sıfır - geçiş, dip noktalarının kullanılmasına dayanan "Genelleştirilmiş Sıfır - Geçiş" (Generalized Zero Crossing - GZC) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

HHT analizi sonucunda elde edilen döngü ve doğrusal olmayan trend bileşenleri arasındaki ilişki ise "Zamana Bağlı İçsel Korelasyon" (Time Dependent Intrinsic Correlation - TDIC) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. TDIC, anlık frekans değerleri kullanılarak hesaplanan hareketli pencereler yardımıyla zamana bağlı değişen korelasyon değerlerinin hesaplanmasına dayanır. Böylelikle durağan ve/veya doğrusal olmayan veriler arasındaki ilişki ölçülebilir hale gelmiştir. Ayrıca korelasyonun zamana bağlı olarak hesaplanabilmesi bileşenler arasındaki ilişkinin zaman içindeki gelişiminin analiz edilmesini de olanaklı kılmaktadır.

Uluslararası finans, ekonomi ve matematik alanlarını içeren disiplinler arası nitelikte olan bu çalışma, ulusal ve uluslararası literatüre katkı sunmaktadır. Bu çalışmada fiyat serilerine ilişkin bileşenler EMD, EEMD, M-EEMD, "Direkt EMD Temelli Normalleştirme" ve "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" modelleri kullanılarak ayrıştırılmış; NHT, DQ ve GZC yöntemleri kullanılarak frekans-zaman boyutunda incelenmiş ve enerji - frekans değişimlerini içeren spektral sonuçlar ekonomi perspektifinden yorumlanmıştır. Bu açıdan incelendiğinde çalışma M-EEMD, "Direkt EMD Temelli Normalleştirme" ve "Doğrusal Olmayan Yinelemeli EMD Temelli Normalleştirme" modellerinin hisse senetleri verilerine uygulanması açısından dünyada yapılan ilk çalışma olmasının yanında, yazarın bildiği kadarıyla finansal serilerin zaman - frekans boyutunda analiz edilmesi ve anlık frekans konuları açısından yapılmış en kapsamlı çalışmadır. Ayrıca bileşenler arasındaki ilişki ilk kez TDIC kullanılarak analiz edilerek hisse senedi piyasalarının bileşenleri arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca sosyal bilimlerden incelendiğinde, bu çalışma HHT ve anlık - frekans konularında başvuru kaynağı özelliği taşımaktadır. Sosyal bilimlerden, finans ve ekonomi açısından incelendiğinde, nitelikleri açısından çalışma yazarın bildiği kadarıyla literatürde yapılmış ilk çalışmadır.

Finansal piyasalarda meydana gelen trend ve döngülerin analizi politika yapıcılar ve finansal aktörler açısından oldukça önemlidir. Fiyat serilerinin oluşumunu etkileyen iç içe geçmiş dinamiklerin birbirlerinden ayrıştırılması ile kısa ve uzun vadeli dinamikler görünür hale gelmektedir. Kısa dönemli dalgalanmalar ve uzun dönemli fiyat hareketi ile trend finansal açıdan farklı öneme sahiptirler. Finansal piyasalarda kısa dönemli işlem yapan kurumlar için kısa dönemli dalgalanmaların hesaplanması kritik öneme sahipken daha uzun dönemli döngüler ve trend uzun dönemli yatırım yapan yatırımcı ve politika uygulayıcılar tarafından dikkate alınmaktadır. Serilerin kendisi yerine döngülere ayrıştırılarak risk analizi yapılması risk ölçümlemesi ve politika etkinliğinin analizi açısından daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca dinamiklerin ayrıştırılması finansal sistemde meydana gelen şok ve krizlerin kısa ve uzun vadeli sonuçlar ile etkilerinin analizini mümkün kılmaktadır.

HHT analizinin sadece birinci aşamasında elde edilen bileşenlerin incelenerek yorumlanmasının, bileşenin geçirdiği değişimlerin incelenmesi açısından yeterli olmadığı; söz konusu bileşenlerin frekans ve enerji değişimlerinin spektrumlar aracılığıyla analiz edilmesinin daha yararlı olabileceğine dair bulgular elde edilmiştir. Dolayısıyla, HHT analizi bir bütün olarak uygulanmalı ve bileşenlerin enerji/frekans değişimleri incelenmelidir. Ayrıca anlık frekans ve enerji hesaplanması sürecinde NHT ve QDR yöntemleri ile beklendiği gibi birbirlerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, frekans ve enerjiye genel seviyesindeki değişimin ana hatlarıyla incelenmesinde ya da düşük frekanslı bileşenlerin enerji seviyelerinin incelenmesinde GZC yönteminin kullanılabileceğine ilişkin bulgular elde edilmiştir. Yüksek frekanslı bileşenlere oranla daha düşük frekans seviyesinde daha istikrarlı enerji yapısı gözlenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu enerji yapısı yüksek periyoda sahip genel dalgalanmaların baskın olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, yüksek frekansa sahip bileşenlerin doğrusal olmayan dinamiklerden daha fazla etkilendiğine ilişkin bulgu elde edilmiştir. Bu durum kısa dönemli fiyat hareketlerinin daha fazla dalgalandığı ve fiyat değişiminin düzensiz şekilde artış ve azalışlar gösterdiğini ifade eder. Dolayısıyla, fiyat verileri nispeten düzenli ama enerjisi düşük dalgalanmalar ile yüksek enerjili ve hızlı dalgalanmaların

bileşiminden oluşmaktadır. Yüksek frekanslı bileşenlerin bu özelliği spektrum analizinde frekans ve enerji genel seviyesine ek olarak söz konusu öğelerdeki dalgalanmalar ve zirve noktalarının detaylı incelenmesinin zorunluluğuna işaret etmektedir.

Son yirmi yıla ait S&P 500 endeks değerlerine ilişkin detaylı spektral analiz sonucunda endeks bileşenlerine ait frekans ve enerji değerlerinin önemli yerel ve küresel gelişmelerden etkilendiklerine dair bulgular elde edilmiştir. Asya finans krizi, ABD piyasalarında meydana gelen ve "küresel mini kriz" olarak adlandırılan dalgalanmalar ile ABD borsalarında çeşitli dönemlerde meydana gelen krizler, şirket iflaslarının tetiklediği finansal dalgalanmalar; küresel etkileri olan Rusya krizi, Brezilya krizi, Arjantin krizinin meydana geldiği dönemlerde enerji ve frekans yapısında değişim gözlenmiştir. Ayrıca, Japonya, Rusya, Endonezya, Brezilya finans piyasalarında meydana gelen krizler ile Mortgage krizi ve sonrasında ABD ekonomisinde meydana gelen finansal krizlerin de enerji ve frekans değişimleri üzerinde etkili olduğuna dair bulgular elde edilmiştir. Özellikle son dönemlerde Avrupa Birliği üye ülkelerinde görülen krizlerin derinleşmesi ile meydana gelen Avrupa borç krizi frekans ve enerji yapısında önemli değişimlere yol açan finansal faktörlerin başında yer almaktadır. Ayrıca, çeşitli dönemlerde ABD ve Avrupa Birliği'nde meydana gelen resesyon dönemlerinde de endeks enerji ve frekans yapısında değişimler gözlenmiştir. Terör saldırıları ve sonrasındaki askeri operasyonların gerçekleştirildiği dönemler ve bunun sonucunda politik istikrarsızlıkların arttığı dönemlerde enerji ve frekans değişimleri gözlenmiştir. İMKB 100 endeksinin enerji ve frekans değişimi açısından detaylı incelenmesi sonucunda endeksin yukarıda kısaca ifade edilen gelişmelerden etkilendiğini göstermektedir. Gelişmekte olan piyasaların gelişmiş piyasalardan gelen şok ve haberlere daha açık olmasının doğal bir sonucudur. Yukarıda ifade edilen gelişmelere ek olarak 1990'lı yılların başında meydana gelen Avrupa para krizi, Körfez Savaşı ve Meksika krizi gibi gelişmelerin meydana geldiği dönemlerde de İMKB 100 endeksinin enerji ve frekans değerlerinde önemli değişimlerin olduğu görülmektedir. Ayrıca, 2000 sonu ve 2001 yılında Türkiye ekonomisinde krizlerin görüldüğü dönemlerde de frekans ve enerji artışları gözlenmiştir. Analiz sonucunda

elde edilen diğer bir bulgu ise 2009 - 2010 döneminde meydana gelen yüksek enerji seviyesidir. Söz konusu dönemde Türkiye ekonomisinde Şiddetli bir kriz görülmemiştir. Tespit edilen enerji artışı Avrupa borç krizinin neden olduğu sermaye hareketliliği ve özellikle krizin derinleşmesi halinde dış borç nedeniyle ekonominin bozulması riskine karşı piyasada gerçekleştirilen işlem hareketlerinden kaynaklanmış olabilir. S&P 500 ve İMKB 100 bileşenleri arasındaki korelasyon analizi sonucunda 2000 yılından itibaren korelasyon katsayısındaki artış dikkati çekmektedir. Dolayısıyla, 2000 yılından itibaren söz konusu piyasalar özellikle düşük frekanslı bileşenler aynı yönde hareket etmiŐlerdir. Yüksek periyoda sahip dalgalanmaların benzer dinamiklerden etkilendiğine ilişkin bulgu elde edilmiştir. Yüksek frekanslı bileşenlerde ise 2000 yılından itibaren genel korelasyon artıŐına rağmen kısa dönemde Şiddetli pozitif ve negatif korelasyonlar gözlenmiştir. Kısa dönemli dalgalanmaların ise piyasalara özgü haber ve Őoklardan etkilenmiŐ olabileceklerine ilişkin bulgu elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen teknik ve ampirik sonuçlar birlikte ele alındığında enerji ve frekans yapısındaki değişimlerin piyasalarda meydana gelen önemli olaylarla örtüştüğü sonucuna ulaŐılmaktadır. Dolayısıyla, frekans - enerji analizi yaklaşımı piyasalardaki değişimin tespiti amacıyla kullanılabilir. Bu bağlamda politika yapıcılar ve uzun dönemli yatırım yapmayı hedefleyen yatırımcılar özellikle orta ve düşük frekansa sahip bileşenlerin analizine odaklanarak genel fiyat hareketleri konusunda bilgi sahibi olabilir. Özellikle uygulanan politikaların orta ve uzun dönemli fiyat hareketleri üzerindeki etkisi gözlenebilir hale gelmektedir. Kısa dönemli yatırım yapan yatırımcılar ve finansal analistler ise kısa ve orta periyoda sahip bileşenlere odaklanabilir. Özellikle kısa dönemli bileşendeki enerji artış ve azalışların detaylı analiz edilmesi ile birlikte piyasalarda etkili olma potansiyeli yüksek olayların nitelikleri tespit edilerek gelecekte gerçekleŐecek piyasa hareketlerine ilişkin çıkarımlarda bulunulabilir. Ayrıca, risk lmlenmesi ve trend analizi konularında HHT analizinin kullanılması klasik trend analizine alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

Chen, X., Wu, Z. ve Huang, N. E. (2010). The Time-Dependent Intrinsic Correlation Based on the Empirical Mode Decomposition. *Advance in Adaptive Data Analysis*. 2(2): 233-265.

Cohen, L. (1995). *Time - Frequency Analysis: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall

Flandrin, P., Goncalves, P. ve Rilling, G. (2005). EMD Equivalent Filter Banks, from Interpretation to Applications. *Hilbert-Huang Transform And Its Applications* (pp. 67 - 87). Singapore: World Scientific Publishing

Gledhill, R. J. (2003). *Methods for investigating conformational change in biomolecular simulations*. A dissertation for the degree of Doctor of Philosophy at the Department of Chemistry, the University of Southampton, pp. 201.

Guhathakurta, K., Mukherjee, I. ve Chowdhury, A. R. (2008). Empirical mode decomposition analysis of two different financial time series and their comparison. *Chaos, Solitons, and Fractals*. 37(-): 1214-1227.

Hong, L. (2011). Decomposition and Forecast for Financial Time Series with High - Frequency Based on Empirical Mode Decomposition. *Energy Procedia*. 5(-): 1333-1340.

Huang, N. E. (2005). Introduction to the Hilbert-Huang Transform and its Related Mathematical Problems. *Hilbert-Huang Transform And Its Applications* (pp. 1 - 26). Singapore: World Scientific Publishing

Huang, N. E. (2012). Applications of HHT to Financial Data Analysis. *The 3rd International Conference on Hilbert-Huang Transform: Theory and Applications*. K003.

Huang, N. E. ve Wu, Z. (2008). A review on Hilbert-Huang transform: method and its applications to geophysical studies. *Reviews of Geophysics*. 46(RG2006): 1-23.

Huang, N. E., Shen, Z. ve Long, S. R. (1999). A New View of Nonlinear Water Waves - The Hilbert Spectrum. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 31(-): 417-457.

Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C. C. ve Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc. Roy. Soc. Lond.* 454(A): 903-993.

Huang, N. E., Wu, M. L., Long, S. R., Shen, S. S., Qu, W., Gloersen, D. P. ve Fan, K. L. (2003b). A confidence limit for the Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectral Analysis. *Proc. Roy. Soc. London.* 459A(-): 2317-2345.

Huang, N. E., Wu, M. L., Qu, W., Long, S. R. ve Shen, S. S. (2003a). Applications of Hilbert-Huang Transform to Non-stationary Financial Time Series Analysis. *Applied Stochastic Models in Business and Industry.* 19(-): 245-268.

Huang, N. E., Wu, Z., Long, S. R., Arnold, K. C., Chen, X. ve Blank, K. (2009). On instantaneous frequency. *Advance in Adaptive Data Analysis.* 1(2): 177-229.

Meng, L., Guo, J. ve Zhang, Z. (2010). China's Monetary Policy in the Context of Financial Crisis. *First International Conference on Networking and Distributed Computing:* 290-294.

Oladosu, G. (2009). Identifying the oil price-macroeconomy relationship: An empirical mode decomposition analysis of US data. *Energy Policy.* 37: 5417-5426.

Papadimitriou, S., Sun, J. ve Yu, P. S. (2006). Local correlation tracking in time series. *Proc. Sixth Int. Conf. Date Mining:* 456-465.

Rodo, X. ve Rodriguez-Arias, M. A. (2006). A new method to detect transitory signatures and local time/space variability structures in the climate system: the scale-dependent correlation analysis. *Clim. Dyn.* 27: 441-458.

Sun, J. ve Sheng, H. (2010). Applications of Ensemble Empirical Mode Decomposition to Stock - Futures Basis Analysis. *IEEE*: 396-399.

Wu, Z. ve Huang, N. E. (2004). A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method. *Proc. Roy. Soc. London.* 460A: 1597-1611.

Wu, Z. ve Huang, N. E. (2009). Ensemble Empirical Mode Decomposition: a noise-assisted data analysis method. *Advances in Adaptive Data Analysis.* 1(1): 1-41.

Wu, Z., Huang, N. E, Long, S. R. ve Peng, C.-K. (2007). On the trend, detrending, and the variability of nonlinear and non-stationary time series. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 104: 14889-14894.

Wu. M.- C. (2007a). Phase correlation of foreign exchange time series. *Physica A*: 633-642.

Wu. M.- C. (2007b). Phase Statistics Approach to Time Series Analysis. *Journal of the Korean Physical Society.* 50(1): 304-312.

Wu. M.- C. (2007c). Phase Statistics Approach to Physiological and Financial Time Series. *AAPPS Bulletin.* 17(2): 21-26.

Yeh, J. - R., Shieh, J.-S. ve Huang, N., E. (2010). Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Novel Noise Enhanced Data Analysis Method. *Advances in Adaptive Data Analysis.* 2(2): 135-156.

Yu, L., Lai, K. K., Zhang, X., Wang, S. - Y. ve He, K. (2007). Oil Price Forecasting an EMD-Based Multiscale Neural Network Learning Paradigm. *ICCS 2007, Part III*. LNCS 4489: 925-932.

Yu, L., Wang, S. - Y. ve Lai, K. K. (2008). Forecasting Crude Oil Price with an EMD-Based Neural Network Ensemble Learning Paradigm. *Energy Economics*. 30: 2623-2635.

Yu, L., Wang, S. - Y., Lai, K. K. ve Wen, F. (2010). A Multiscale Neural Network Learning Paradigm for Financial Crisis Forecasting. *Neurocomputing*. 73: 716-725.

Zhang, X., Lai, K. K. ve Wang, S. - Y. (2007). A New Approach for Crude Oil Price Analysis Based on Empirical Mode Decomposition. *Energy Economics*: 1-14.

Zhang, X., Yu, L., ve Wang, S. - Y. (2009b). The Impact of Financial Crisis of 2007-2008 on Crude Oil Price. *ICCS 2009, Part II*. LNCS 5545: 643-652.

Zhang, X., Yu, L., ve Wang, S. - Y. ve Lai, K. K. (2009a). Estimating the Impact of Extreme Events on Crude Oil Price: An EMD - Based Event Analysis Method. *Energy Economics*. 31: 768-778.