



**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞL-DR-2017-0001**

**BORSA İSTANBUL'DA (BİST) HİSSE SENEDİ
FİYATLARININ SPEKTRAL ANALİZİ**

HAZIRLAYAN

Batu VARLIK

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU

AYDIN-2017

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞL-DR-2017-016**

**BORSA İSTANBUL'DA (BİST) HİSSE SENEDİ
FİYATLARININ SPEKTRAL ANALİZİ**

HAZIRLAYAN

Batu VARLIK

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU

AYDIN-2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

İşletme Ana Bilim Dalı Doktora Programı öğrencisi Batu Varlık tarafından hazırlanan Borsa İstanbul'da (BİST) Hisse Senedi Fiyatlarının Spektral Analiz başlıklı tez, 30703/2017 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

<u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u> :	<u>Kurumu</u> :	<u>İmzası:</u>
(Başkan) Prof. Dr. Selim Bekçioğlu	ADÜ, İİBF, İşletme Böl.
Prof. Dr. Yusuf Kaderli	ADÜ, İİBF, İşletme Böl.
Prof. Dr. Hakan Sarıtaş	PAÜ, İİBF, İşletme Böl.
Prof. Dr. Recep Şener	MÜ, İİBF, İşletme Böl.
Doç. Dr. Muhsin Özdemir	ADÜ, Söke İşletme Fak. Yönetim Bilişim Sis. Böl.

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu Doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulununsayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Unvanı, Adı Soyadı
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı : Batu Varlık

İmza :

ÖZET

YAZAR ADI-SOYADI: Batu Varlık

BAŞLIK: Borsa İstanbul'da (BİST) Hisse Senedi Fiyatlarının Spektral Analizi

Bu tez çalışmasında Borsa İstanbul'un (BİST) Spektral Analiz Tekniği ile analizi yapılmıştır. Birinci bölümde, tasarruf ve yatırım ilişkileri, menkul kıymetler, borsalar ve spektral analizle ilgili temel kavramlar açıklanmıştır.

İkinci bölümde ise, zaman serileri ve spektral analiz teorik olarak anlatılmıştır. Spektral analiz tekniğinin, günlük hayatta yaşanan belli bir döngüye sahip olaylar için yeni ve farklı bir gösterim ve analiz tekniği sunmasından ötürü, oldukça karmaşık matematiksel eşitliklerin anlaşılabilirliğini sağlamak için konu ayrıntıları ile anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, Borsa İstanbul'un verileri, spektral analiz tekniği ile analiz edilmiştir. Yaklaşık 30 yıllık bir geçmişe sahip İstanbul Borsası'nın geçen bu süre içinde farklı faktörlerin etkisinde olması nedeniyle, uygulamanın yapılması kolay olmamıştır. Zaman serileri dolayısıyla da spektral analiz tekniği, ekonomik döngüleri trend, konjonktür, mevsimsel olarak adlandırılan değişik zaman süresindeki periyodik bölümlere ayırmaktadır. Türkiye'de bu 30 yıl süre içerisinde ekonomik sistem değişime uğramış, Serbest Piyasa Ekonomisi daha belirginleşmiştir. Çalışmada, bu süreçlerin İstanbul Borsası'nın yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sonuç bölümünde ise, çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir. Spektral analiz tekniğinin Borsa İstanbul'a uygulanabilirliği sağlanmış ve periyodik bileşenler tespit edilmiş, özellikle rassal dalgalanma olarak görülen pek çok olayın alsında bir döngüsel olaydan oluştuğu tespit edilmiştir. Borsa İstanbul'un spektral analiz grafiği, gelişmiş ülke borsaları üzerine yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, spektral analiz yönteminin Türkiye'de gelişebilmesi için, nelerin yapılması gerektiği belirtilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: BİST 100, Borsa İstanbul, Ulusal 100 Endeksi, Zaman Serileri, Spektral Analiz, Fourier Dönüşümü

ABSTRACT

NAME: Batu Varlık

TITLE: Spectral Analysis of Istanbul Stock Exchange (ISE) Stock Prices in Turkey

In this thesis the analysis of Istanbul Stock Exchange is made with spectral analysis technique. The first part describes saving-investment relations; the theory of finance, securities, stock markets and basic concepts of spectral analysis and finance theory relationship.

In the second part, theoretical concepts of time series and spectral analysis are described. Spectral analysis technique is a new and different technique to display and analyze events with a certain cycle experienced in daily life. Since the technique requires very complex mathematical equations to be described, the theory will be explained in details.

In the third part, data on the Istanbul Stock Exchange will be analyzed by spectral analysis techniques. Since ISE, which has nearly 30 years of history, had been influenced by various factors during this time, the analysis has been executed very difficultly. Time series, thus spectral analysis techniques divides economic cycles into periodic portion with different time periods called as trend, conjecture, seasonal. The Turkish economic system has been transformed considerably in this period of 30 years, and free market economy has become more evident. The effects of these processes on the structure of the ISE have also been examined in this study.

In conclusion, the results of this study are evaluated. Applicability of spectral analysis technique to ISE has been ensured and periodic components were identified. It has been found that many phenomena seen as random fluctuations actually form a cyclic effect. In addition, the spectral analysis char of ISE is compared with the studies on developed country markets. Furthermore, suggestions have been offered for the development of spectral analysis methods in Turkey.

KEYWORDS: Istanbul Stock Exchange, ISE, BİST100, XU100, Spectral Analysis, Time Series, Fourier Transformations

ÖNSÖZ

Dünyanın ve evrenin yaşı söz konusu olduğunda, en eski borsanın tarihi bile muhtemelen çok kısa olarak görünecektir. Eğer, evrenin herhangi bir yerinde tüm veriler saklanıyorsa, Borsa İstanbul'un (BİST) verileri bunların yanında yok denecek kadar az olacaktır.

“Tarih tekerrürden ibarettir” sözü boşuna söylenmemiştir. Ayrıntılar değişse bile, pek çok olay kendisini aynen tekrar etmektedir. Dünya, Güneş Sistemi içinde; Güneş Sistemi, Samanyolu Galaksisi'nde; Samanyolu Galaksisi de evrende sürekli biçimde dönerek hareket etmektedir. Mevsimler, aylar, günler tekrarlanarak geçmekte; her gece bitince yeni bir gün, her ay bitince yeni bir ay ve her yıl bitince yeni bir yıl başlamaktadır. İnsanlar da, doğuş-gelişme-ölüm evrelerini yaşamakta ve her yeni nesil eski neslin yerini almaktadır. Dolayısıyla, hayatın bir parçası olan yatırım süreci de bu döngünün bir parçasıdır ve bu döngüsel düzenin kurallarına göre hareket etmektedir. Böyle hareket edip etmediğini analiz etmek ise, bu tezin temelini oluşturmaktadır.

Buradan çıkarılabilecek sonuç ise, dünyamızdaki olayların oluşmasına neden olan temel etkenler döngüsel faktörlerdir. Bilimler disiplinlere ayrılmış olsa bile, hayat bir bütündür ve tüm disiplinler hayatın akışını çözmede eşit olarak kullanılırlarsa, konuları anlamak ve analiz etmek de kolaylaşır. Ekonomik olaylar da hayatın bu döngüsünün bir parçasıdır ve bu döngünün faaliyetleri ve fonksiyonları sonucunda ortaya çıkmaktadırlar. Eğer, bütün faaliyetler ve fonksiyonlar, tüm verileri analiz edebilecek denklemler yardımıyla değerlendirilirse, gelecekteki olayları doğru tahmin etmek mümkün olabilir.

Günümüzde verileri toplamak, saklamak ve değerlendirmek eskisine göre çok daha kolaydır. Bir analizi verimli yapabilmek için en önemli olan etken, mümkün olduğunca çok verinin toplanabilmesidir. Veri analizinin elle veya yavaş bilgisayarlarla yapıldığı zamanlarda örnekleme önemli bir konuyken, bugün hızlı çalışan sayısal bilgisayar yardımıyla olaylar ve ilişkili hadiseler hakkında kesintisiz veri toplamak ve bunları çabuk bir şekilde analiz etmek mümkün olmaktadır. Böylece, örnekleme yöntemiyle yapılacak analizlerde, örneklerin bazı önemli detayları dikkate almaması nedeniyle oluşabilecek yanlışlar engellenebilmektedir.

Fizik ve astronomi gibi bilim alanlarında kullanılan spektral yöntemleri, ekonomi bilimine uygulanabilir ve ekonomiler daha da güçlü kılınabilir. Ekonominin

bütün devingen yönlerine ait veriler, birer zaman serisi oluşturmakta ve bu verileri inceleyebilmek için etkin analiz teknikleri gerekli olmaktadır. Özellikle, elektronik ve haberleşme mühendisliğinde kullanılan Fourier Analizi ve dolayısıyla Spektrum Analizi teknikleri, ekonomik zaman serilerine de uygulanabilir, ekonomik sistemler ve modeller daha etkin analiz edilebilir.

Spektral analizin borsa uygulamalarıyla ilgili pek çok ülkede çalışmalar yapılmıştır; ancak, BİST'in genç bir borsa olması ve dolayısıyla bu analiz için yeterli verinin yokluğu, analizin ülkemizde yapılabilirliğini kısıtlamıştır. Ayrıca, ülkemizde istatistik, bilişim ve mühendislik, fizik, matematik disiplinleri ile sosyal bilimler arasındaki disiplinler arası (*interdiscipline*) çalışmaların istenilen düzeyde olmaması, spektral analiz gibi karmaşık matematiksel fonksiyonlar ve algoritmalar içeren bir konunun ekonomik konulara uygulamasını yavaşlatmıştır. Üniversiteler, borsalar vb. kurumlar arasındaki işbirliğinin gelişmiş ülke seviyelerinde ulaşamaması da gelişmeyi ayrıca engellemiştir.

Doktora çalışmaları yapmam için beni teşvik eden ve doktora öğrenimim süresince bana destek olan danışman hocam Prof. Dr. Selim Bekçioğlu başta olmak üzere, yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Hakan Sarıtaş'a, Prof. Dr. Yusuf Kaderli'ye ve Doç. Dr. Erdin Gündüz'e teşekkürler ederim.

Ayrıca, çalışmamda bana destek olan ve bu uzun süreçte anlayışını esirgemeyen aileme, dostlarıma ve iş arkadaşlarıma teşekkür borçluyum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
EKLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	7
MENKUL KIYMETLER KAVRAMI VE ANALİZİ	7
1.1. YATIRIM	7
1.1.1. Tasarruf	8
1.2.1. Finansal Yatırım	10
1.3.1. Yatırım Sürecinin Yapısı	11
1.4.1. Risk Kavramı	13
1.5.1. Riskin Tanımı ve Çeşitleri	14
1.6.1. Riskten Kaçış ve Portföy Oluşturulması	16
1.2. MENKUL KIYMETLER	17
1.2.1. Menkul Kıymetlerin Dayandığı Finans Teorileri	18
1.2.2. Menkul Kıymetler Pazarları – Borsalar	24
1.2.3. Makroekonomik Faktörlerin Menkul Kıymetler Üzerindeki Etkileri	26
1.2.4. Menkul Kıymetlerdeki Dalgalanmalar	31
1.3. MENKUL KIYMETLER VERİLERİNİN ANALİZİ	38
1.3.1. Temel Analiz Araçları ve Yöntemleri	42
1.3.2. Teknik Analiz Araçları ve Yöntemleri	45
1.4. MENKUL KIYMETLER BORSALARI ÜZERİNE YAPILMIŞ	
ÇALIŞMALAR	50
1.4.1. Gelişmiş Ülke Borsaları Üzerinde Yapılmış Çalışmalar	50
1.4.2. Gelişmekte Olan Ülke Borsaları Üzerine Yapılmış Çalışmalar	56
1.4.3. Borsa İstanbul Üzerinde Yapılmış Çalışmalar	57

İKİNCİ BÖLÜM.....	71
SPEKTRAL ANALİZ.....	71
2.1. ZAMAN SERİLERİ.....	71
2.1.2. Zaman Serileri İle İlgili Genel Kavramlar	74
2.1.2.1. Stokastik Süreç	79
2.1.2.2. Ekonomik Zaman Serilerinin Tanımı	80
2.1.3.4. Zaman Serilerinin Analiz Yöntemleri	87
2.1.2. Zaman Serileri Verileri	97
2.1.3. Zaman Serilerinin Çeşitleri	111
2.1.3.1. Tek Değişkenli Zaman Serileri.....	111
2.1.3.2. Çok Değişkenli Zaman Serileri	112
2.1.4. Ekonomik Zaman Serilerinin Analizi	113
2.1.4.1. Durağanlık	117
2.1.4.2. Korelogram Testi.....	121
2.1.4.3. Otokorelasyon.....	122
2.1.4.4. Normal Dağılım ve Etkinlik	124
2.1.4.5. Harmonik Analizi	125
2.1.4.6. Periyodogram	128
2.1.4.7. Korelogram.....	133
2.2. SPEKTRAL MODEL.....	134
2.2.1. Spektral Modelin Tanımı	138
2.2.1.1. Fourier Analizinin Temelleri.....	146
2.2.1.2. Katsayıların Bulunması	150
2.2.1.3. Stokastik Sürecin Spektral Gösterimi.....	151
2.2.1.4. Zaman Serileri ve Spektral Analiz Örnek Gösterim.....	156
2.2.2. Durağan Zaman Serileri için Spektral Teori ve Tahmin Yöntemleri	161
2.2.2.1. Spektral Teori	164
2.2.2.2. Güç Spektrumu	167
2.2.2.3. Kara Kutular ve Rasyonel Spektral Fonksiyonların İşlenmesi.....	176
2.2.2.4. Filtreler	181
2.2.2.5. Güç Spektrumunun Tahmini	185
2.2.2.6. Nyquist Frekansı ve Dalgaların Frekanslarının Karışması (Eşdeş).....	190

2.2.2.7. Durağan Sürecin Dönüşümü.....	192
2.2.2.8. Spektral Tahmin	195
2.2.2.9. Çapraz Spektral Analiz.....	200
2.2.2.10. Spektral Pencere	210
2.2.2.11. Spektral Analizin Yorumlanması	215
2.2.3. Durağan Olmayan Zaman Serilerinin Spektral Tahmin Yöntemleri	218
2.2.3.1. Ortalamasında Trend Olan Seriler.....	218
2.2.3.2. Spektrumu Zamanla Değişen Seriler.....	221
2.2.3.3. Demodülasyon.....	224
2.2.4. Modern Spektral Analiz	228
2.2.4.1. Tekil Spektral Analiz (Singular Spectral Analysis – SSA).....	229
2.2.4.2. Monte Carlo SSA ve Temsili Veri Yöntemi	234
2.2.4.3. Geliştirilmiş MC-SSA	236
2.2.4.4. Çoklu Sönümlenme Yöntemi (Multi-Taper Method – MTM).....	236
2.2.4.5. Maksimum Entropi Yöntemi (Maximum Entropy Method – MEM)....	238
2.2.4.6. Dalgacık Analizi.....	239
2.2.5. Spektral Modelin Finansal Ekonometride Kullanımı	245
2.2.5.1. Ekonometrik Metot Temelleri	251
2.2.5.2. Veri Toplama, Uygulama ve Değerlendirme	252
2.2.5.3. Zaman Serileri ile Spektral Modelin Ekonometride Karşılaştırılması ..	258
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	262
SPEKTRAL YÖNTEM İLE BİST100 ENDEKSİNİN ANALİZİ.....	262
3.1. BORSA İSTANBUL (BİST)	262
3.1.1. Borsa İstanbul'un (BİST) Yapısı ve Özellikleri	262
3.1.1.1. Tarihsel Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri	262
3.1.1.2. Ekonomik Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri.....	265
3.1.1.3. Coğrafi Durumdan Kaynaklanan Özellikleri.....	271
3.1.1.4. Siyasi Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri.....	272
3.1.1.5. Sosyal Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri.....	276
3.1.1.6. Hukuki Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri	278
3.1.2. BİST'in Dünya Borsalarıyla Karşılaştırması	279
3.1.3. BİST Verilerinin Analizi	283

3.2. VERİLERİN TOPLANMASI VE METODOLOJİ	287
3.2.1. Veri Seçimi	287
3.2.2. Metodoloji	288
3.2.3. R Programı Hakkında	289
3.2.4. Analizde Kullanılan Değişkenlerin Tanımlanması	290
3.3. VERİLERİN SPEKTRAL ANALİZİ.....	291
3.3.1. Verilerin İncelenmesi	291
3.3.2. Verilerin Zaman Düzleminde Gösterimi	295
3.3.3. Verilerin Zaman Düzleminde Bileşenlerine Ayrıştırılması	297
3.3.4. Verilerin Klâsik Spektral Analiz Tekniği ile İncelenmesi	301
3.3.5. Verilerin Modern Spektral Analiz Tekniği ile İncelenmesi	304
3.3.5.1. Tekil Spektral Analiz (SSA) Yöntemiyle Analiz	304
3.3.5.2. Diğer Modern Spektral Analiz Yöntemleri	313
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	314
KAYNAKÇA	319
EKLER.....	338
ÖZGEÇMİŞ.....	349

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Para ve Sermaye Piyasaları Arasındaki Farklar	26
Tablo 2.1: Durbin-Waston Testinin Beş Bölgesi	123
Tablo 3.1: Borsa İstanbul'un Kilometre Taşlarıyla Tarihsel Gelişimi.....	263
Tablo 3.2: Borsa İstanbul'un Rakamlarla Tarihsel Gelişimi	264
Tablo 3.3: Bazı Gelişmekte Olan Ülkeler (GOÜ) İçin Çeşitli Büyüklük ve Oranlar (2010).....	280
Tablo 3.4: Borsaların Piyasa Değeri (2013).....	280
Tablo 3.5: Borsada İşlem Gören Toplam Şirket Sayısı (2013).....	281
Tablo 3.6: Borsaların Pay Senedi İşlem Hacimleri (2013)	283
Tablo 3.7: BİST Tarihsel Veriler Tablosu (2015).....	293

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Ekonomik Yatırımla Finansal Yatırım Arasındaki İlişki.....	10
Şekil 1.2: Yatırım Sürecinin Yapısı	12
Şekil 1.3: Finansal Aracılık.....	12
Şekil 1.4: Konjonktür Dalgalanmalar	33
Şekil 1.5: Çeşitli Teknik Analizler Yöntemleriyle Çizilmiş BİST100 Endeks Grafikleri.....	49
Şekil 2.1: Çeşitli Zaman Serileri Türleri	75
Şekil 2.2: Buğday Fiyatları Periyodogramı.....	77
Şekil 2.3: Çeşitli Trend Türleri	82
Şekil 2.4: Çeyrek Yıllık Bir Örnek Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği	84
Şekil 2.5: Konjonktür Değişme.....	86
Şekil 2.6: Verilerin Sınıflandırılması	97
Şekil 2.7: 2.32 Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı	98
Şekil 2.8: 2.33 Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı	99
Şekil 2.9: 2.39. Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı	100
Şekil 2.10: Diğer Fonksiyonların Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı	101
Şekil 2.11: Durağan ve Durağan Olmayan Verilerin Grafiği	102
Şekil 2.12: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	104
Şekil 2.13: Otokorelasyon Fonksiyonu	105
Şekil 2.14: Sinüs Dalgasının (a), Sinüs Dalgası+Rastgele Gürültünün (b), Darband Gürültünün (c), Genişbant Gürültünün (d), Olasılık Yoğunluk Grafiği, Otokorelasyon Grafiği (Otokorelogram), Spektral Güç Grafiği –Her bir fonksiyonun ortalama değeri sıfırdır, $\mu_x=0$	106
Şekil 2.15: Bileşik Olasılık Ölçümü	107
Şekil 2.16: Çapraz-Korelasyon Ölçümü	108
Şekil 2.17: Tipik Çapraz-Korelasyon Çizimi (Çapraz-korelogram). Keskin Tepeler $x(t)$ ile $y(t)$ Arasında Belli Zaman Farklarındaki Korelasyonun Varlığını Göstermektedir.	108
Şekil. 2.18: Örnekleme Yöntemi İle Önişleme	109
Şekil 2.19: Trend Ayırıştırma İşleminin Grafik Gösterimi	110

Şekil 2.20: Dijital Filtreleme Yöntemi İle Ön İşleme	110
Şekil 2.21: Durağan Olmayan Zaman Serisi Örneği.....	120
Şekil 2.22: İki Farklı Zaman Serisi ve Korelogram Grafikleri	122
Şekil 2.23: Yirmi Finansal Zaman Serisinin Otokorelasyon Grafikleri.....	124
Şekil 2.24: Dow Jones Endeksinin Periyodogramı	132
Şekil 2.25: Güç Yoğunluğu Grafikleri	140
Şekil 2.26: Eşit Genlikli Karmaşık Sinüs Dalgalarının Analizi.....	141
Şekil 2.27: Farklı Genlikli Karmaşık Sinüs Dalgalarının Analizi.....	142
Şekil 2.28: İki Farklı Sinüzoidal Dalganın Birlikte Analizi.....	143
Şekil 2.29: Dört Farklı Zaman Serisi Örneği	156
Şekil 2.30: $0-4\pi$ Aralığında Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları	157
Şekil 2.31: Frekansları “ $2/128$ ” olan Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları.....	157
Şekil 2.32: Frekansları “ $7/128$ ” olan Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları.....	157
Şekil 2.33: Frekansları “ $7/128$ ” olan 0,5 Genlikli Sinüs ve 1,5 Genlikli Kosinüs Fonksiyonları	158
Şekil 2.34: Farklı Genlik ve Frekanstaki Sinüs ve Kosinüslerin Toplamı.....	159
Şekil 2.35: Dört Farklı Zaman Serisi Örneği ve Spektraları.....	161
Şekil 2.36: Basamak Fonksiyonu	169
Şekil 2.37: Kara Kutu ve Transfer Fonksiyonu Gösterimi	180
Şekil 2.38: Çeşitli Filtre Fonksiyonları $g(\omega)$	182
Şekil 2.39: “ $n=m$ ” Durumunda Filtre Fonksiyonu Uygulanmış Spektrum.....	184
Şekil 2.40: Frekans Fonksiyonunun Histogram Yöntemiyle Tahmini	187
Şekil 2.41: Pencere Fonksiyonu	188
Şekil 2.42: Örneklemeden Kaynaklanan Dalgaların Karışması (<i>Aliasing</i>).....	190
Şekil 2.43: Düzgün (üste) ve Hatalı (altta) Örnekleme - Dalgaların Karışması (<i>Aliasing</i>).....	191
Şekil 2.44: Spektral Pencerelelerin Grafik Gösterimi.....	215
Şekil 2.45: Tipik Bir Güç Spektrumu	216
Şekil 2.46: Güç Spektral Olasılık Fonksiyonu	217
Şekil 2.47: Uzun Süreli Dalgaların Zayıflatılması	250
Şekil 3.1. 1988 - 2015 Ulusal 100 Endeks Grafiği – TL Cinsinden	294
Şekil 3.2. 1988 - 2015 Ulusal 100 Endeks Grafiği – USD Cinsinden	294
Şekil 3.3. Beş Yıllık Dilimlerle Ulusal 100 Endeks Verileri (TL ve USD Cinsinden).295	

Şekil 3.4. Beş Yıllık Dilimlerle Ulusal 100 Endeks Verileri (USD Cinsinden)	296
Şekil 3.5. TL ve USD Bazlı Ulusal 100 Endekslerinin 1995-2015 Aralığında Haftalık Kapanış Verilerinin Korelogramı	298
Şekil 3.6. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Haftalık Kapanış Değerleri ve Trend, Mevsimsel ve Rastgele Bileşenleri.....	300
Şekil 3.7. USD Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2015 Aralığındaki Haftalık Kapanış Değerleri ve Trend, Mevsimsel ve Rastgele Bileşenleri.....	300
Şekil 3.8. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Trendi Ayırıştırılmış Haftalık Kapanış Değerleri.	301
Şekil 3.9. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Trendi Ayırıştırılmış Haftalık Verinin, Konjonktür (Trend), Mevsimsel ve Rastgele Değerleri Bileşenleri.	302
Şekil 3.10. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Haftalık Ham Verinin Spektral Yoğunluk Grafiği.....	302
Şekil 3.11. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Haftalık Düzleştirilmiş Verinin Spektral Yoğunluk Grafiği.....	303
Şekil 3.12. SSA Birinci Aşama Özdeğerlerin Gösterimi	307
Şekil 3.13. SSA Birinci Aşama Özvektörlerin Gösterimi.....	307
Şekil 3.14. Yeniden Oluşturulan Temel Serilerin Gösterimi	308
Şekil 3.15. X100 Serisi ve SSA Yöntemiyle Ayırıştırılan Trend	308
Şekil 3.16. X100 Serisindeki Yüksek Frekanslı Bileşenler	309
Şekil 3.17. SSA İkinci Aşama Özdeğerlerin Gösterimi.....	310
Şekil 3.18. SSA İkinci Aşama Özvektörlerin Gösterimi	310
Şekil 3.19. İlk 50 Değeri Kullanarak w-Korelasyonunun Gösterimi.....	311
Şekil 3.20. 2nci Aşamada Kullanılan Seri ve Ayırıştırılmış Mevsimsel Bileşen.....	311
Şekil 3.21. BİST Ulusal 100 Endeksi Serisi ve Trend, Mevsimsel ve Artık Bileşenleri	312
Şekil 3.22. BİST Ulusal 100 Endeksi Artık Değerleri ve Sınır Değerleri	313
Şekil 3.23 Granger ve Morgenstern Tarafından Tanımlanan Ekonomik Serilere Ait Genel Spektral Şekil	314
Şekil 3.24. Granger ve Morgenstern Tarafından İncelenen S&P Verileri	315

EKLER LİSTESİ

EK-1 Beklenti Fonksiyonu Notasyonu	338
EK-2 $k=(2n/m)$ 'nın çeşitli değerleri ve $\alpha=5\%$ ve 10% için $T_\alpha(m,n)$ ve $T_\alpha'(m,n)$ değerleri	339
Ek-3 6 Ocak 1995 – 8 Ocak 2015 yılları aralığındaki haftalık verilerin klasik yöntemlerle analizi R kodları.....	340
Ek-4 6 Ocak 1995 – 8 Ocak 2015 yılları aralığındaki haftalık verilerin modern yöntemlerle analizi R kodları.....	347

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AC	:	Otokorelasyon (<i>Autocorrelation</i>)
ACF	:	Otokorelasyon Fonksiyonu (<i>Autocorrelation Function</i>)
ADF Testi	:	Geliştirilmiş Dickey Fuller Testi (<i>Augmented Dickey Fuller Test</i>)
ADR	:	Amerikan Emanetçi Sertifikası (<i>American Depository Receipt</i>)
ADX	:	Yönlü Hareket Göstergesi (<i>Directional Movement Indicator</i>)
AGARCH	:	Asimetrik GARCH (<i>Asymmetric GARCH</i>)
AIC	:	Akaike Bilgi Kriteri (<i>Akaike Information Criterion</i>)
AMEX	:	Amerikan Express Finansal Hizmetler Şirketi (<i>American Express Financial Services Company</i>)
ANOVA	:	Varyans Analizi (<i>Analysis of Variance</i>)
APT	:	Arbitraj Fiyatlama Modeli (<i>Arbitrage Pricing Theory</i>)
AR	:	Otoregresif (<i>Autoregressive</i>)
ARCH	:	Otoregressif Şartlı Değişen Varyans Modeli (<i>Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>)
ARFIMA	:	Kesirli Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama (<i>Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average</i>)
ARIMA	:	Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama (<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>)
ARMA	:	Otoregresif Hareketli Ortalama (<i>Autoregressive Moving Average</i>)
ASE	:	Atina Borsası (<i>Athens Stock Exchange</i>)
ASEAN	:	Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği (<i>Association of Southeast Asian Nations</i>)
BVAR	:	Bayes VAR (<i>Bayesian VAR</i>)
BİST	:	Borsa İstanbul
BT	:	Blackman-Tukey
ECU	:	Avrupa Ekonomik Topluluğu Para Birimi (<i>European Currency Unit</i>)
CAPM	:	Sermaye Varlıklarını Fiyatlama Teorisi (<i>Capital Asset Pricing Model</i>)
CCF	:	Çapraz Korelasyon Fonksiyonu (<i>Cross Correlation Function</i>)

CCI	:	Hisse Senedi Yön Göstergesi (<i>Commodity Channel Index</i>)
DF Testi	:	Dickey Fuller Testi (<i>Dickey Fuller Test</i>)
DİBS	:	Devlet İç Borçlanma Senedi
D.F.	:	Serbestlik Derecesi (<i>Degree of Freedom</i>)
DFFT	:	Ayrık Hızlı Fourier Dönüşümü (<i>Discrete Fast Fourier Transform</i>)
DFT	:	Ayrık Fourier Dönüşümü (<i>Discrete Fourier Transform</i>)
DJIA	:	Dow Jones Endüstri Ortalaması (<i>Dow Jones Industrial Average</i>)
DJTA	:	Dow Jones Ulaştırma Ortalaması (<i>Dow Jones Transportation Average</i>)
DJUA	:	Dow Jones Hizmetler Ortalaması (<i>Dow Jones Utilities Average</i>)
DOG	:	Gauss Türevi (<i>Derivative of Gaussian</i>)
DWT	:	Ayrık Dalgacık Transformasyonu (<i>Discrete Wavelet Transform</i>)
EDF	:	Etkin veya Eşdeğer Serbestlik Derecesi (<i>Effective or Equivalent Degrees of Freedom</i>)
EGARCH	:	Üstel GARCH (<i>Exponential GARCH</i>)
EKK	:	En Küçük Kareler
EOPs	:	Ampirik Ortogonal Fonksiyonlar (<i>Empirical Orthogonal Functions</i>)
EPH	:	Etkin Piyasalar Hipotezi
ETF	:	Etki Tepki Fonksiyonları
FED	:	ABD Merkez Bankası (<i>Federal Reserve System</i>)
FFT	:	Hızlı Fourier Dönüşümü (<i>Fast Fourier Transform</i>)
GARCH	:	Genelleştirilmiş ARCH (<i>Generalized ARCH</i>)
GOSP	:	Gelişmekte Olan Sermaye Piyasaları
GOÜ	:	Gelişmekte Olan Ülkeler
GSMH	:	Gayri Safi Milli Hâsıla
GSYH	:	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
IID	:	Bağımsız ve Eşit Dağıtılmış (<i>Independent and Identically Distributed</i>)
IMF	:	Uluslararası Para Fonu (<i>International Monetary Fund</i>)
ISM	:	ABD Üretim Endeksi (<i>Institute for Supply Management</i>)
İAB	:	İstanbul Altın Borsası
İMKB	:	İstanbul Menkul Kıymetler Borsası
J-B Testi	:	Jarque-Bera testi (<i>Jarque-Bera test</i>)
KHK	:	Kanun Hükmünde Kararname

KİT	:	Kamu İktisadî Teşekkülleri
MA	:	Hareketli Ortalama (<i>Moving Average</i>)
MACD	:	Hareketli Ortalama Uyum/Uyumsuzluk Göstergesi (<i>Moving Average Convergence/Divergence</i>)
MEM	:	Maksimum Entropi Yöntemi (<i>Maximum Entropy Method</i>)
MKK	:	Merkezi Kayıt Kuruluşu
MOE	:	Azami Örtüşme Tahmincisi (<i>Maximal-Overlap Estimator</i>)
MRMS	:	Marjinal Piyasa İkame Oranı (<i>Marjinal Rate of Market Substitution</i>)
MRS	:	Marjinal İkame Oranı (<i>Marjinal Rate of Substitution</i>)
MSCI	:	Morgan Stanley Uluslararası Sermayeler (<i>Morgan Stanley Capital International</i>)
NAFTA	:	Kuzey Amerika Serbest Ticaret Antlaşması (<i>North American Free Trade Agreement</i>)
NASDAQ	:	ABD Borsası (<i>National Association of Securities Dealers Automated Quotations</i>)
NYSE	:	New York Borsası (<i>New York Stock Exchange</i>)
OECD	:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>)
OHLC	:	Açılış, En Yüksek, En Düşük, Kapanış (<i>Opening, High, Low, Closing</i>)
OLS	:	En Küçük Kareler (<i>Ordinary Least Squares</i>)
PCs	:	Temel Bileşenler (<i>Principle Components</i>)
PAC	:	Kısmi Otokorelasyon (<i>Partial Autocorrelation</i>)
PCA	:	Temel Bileşen Analizi (<i>Principal Components Analysis</i>)
PP	:	Phillips-Perron Birim Kök Testi (<i>Phillips-Perron Unit Root Tests</i>)
RCs	:	Yeniden Yapılandırılmış Bileşenler (<i>Reconstructed Components</i>)
ROC	:	Momentum (<i>Rate of Change</i>)
RSI	:	Bağıl Güç Göstergesi (<i>Relative Strength Index</i>)
S.D.	:	Serbestlik Derecesi
SEC	:	Menkul Kıymetler ve Takas Komisyonu (<i>Securities and Exchange Commission</i>)
SLM	:	Sharpe-Lintner-Mossin modeli
SMAR	:	Altkümeler Modeli Otoresgresyon (<i>Subset Model Autoregression</i>)

S&P	:	Standar & Poor
SPK	:	Sermaye Piyasası Kurulu
SS	:	Kareler Toplamı (<i>Sum of Squares</i>)
SSA	:	Tekil Spektral Analiz (<i>Singular Spectral Analysis</i>)
SVD	:	Tek Değer Ayrışımı (<i>Single Value Decomposition</i>)
SWARCH	:	Rejim Geçişli ARCH (<i>Regime Switching ARCH</i>)
SWOT	:	Güçlü Noktalar, Zayıf Noktalar, Fırsatlar, Tehditler (<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>)
TGARCH	:	Eşikli GARCH (<i>Threshold GARCH</i>)
TCMB	:	Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TEFE	:	Toptan Eşya Fiyat Endeksi
TFE	:	Tüketici Fiyat Endeksi
TMX	:	Toronto Borsası
TOPIX	:	Tokyo Borsa Endeksi (<i>Tokyo Stock Price Index</i>)
TTIP	:	Transatlantik Ticaret ve Yatırım Ortaklığı (<i>Transatlantic Trade and Investment Partnership</i>)
TÜFE	:	Tüketici Fiyat Endeksi
UK	:	Birleşik Krallık (<i>United Kingdom</i>)
USD	:	ABD Para Birimi (<i>United State Dollar</i>)
VAR	:	Vektör Ardışık Bağlanım veya Vektör Otoregresyon (<i>Vector Autoregression</i>)
VECM	:	Vektör Hata Düzletme Modeli (<i>Vector Error Correction Model</i>)
VİB	:	Vadeli İşlem Borsaları
VOB	:	Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası
WFE	:	Dünya Borsalar Federasyonu (<i>World Federation of Exchanges</i>)
WT	:	Dalgacık Dönüşümü (<i>Wavelet Transform</i>)

GİRİŞ

Bir ülkenin ekonomik kalkınma ve büyümesi, o ülkede yapılan net reel yatırımların toplamı ile yakından ilgilidir. Bu reel yatırımlarının finansman kaynağını ise, o dönemde ülke içinde yapılmış tasarruflar ile ülke dışından sağlanan sermaye fonları oluşturur. Tasarruf ile yatırım arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Tasarruf olmadan yatırımın gerçekleştirilmesi olanaksızdır.

Kişiler çeşitli uğraşları sonucu biriktirdikleri tasarrufları tüketim harcamaları için de kullanabilirler. Ancak, tasarrufların dayanıklı tüketim maddelerinde (buzdolabı, televizyon, otomobil ve benzerleri) kullanılması halinde, bu tasarruflar gerçek yatırıma dönüşmez. Yapılan, sadece tüketici yatırımından ibarettir.

Kişiler, tasarruflarını finansal yatırımlara da yatırabilirler. Değerli madenler, tablolar, petrol, altın, döviz, gayrimenkul, emtialar ve menkul kıymetler ve benzerleri finansal yatırım araçlarındandır. Temel özellikleri benzer olmakla beraber, her bir yatırımın kendine özgü çeşitli özellikleri vardır. Bu özelliklerin en önemlisi, yapılan yatırımın riski ve getirisidir. Günümüzde ülkemizde gittikçe önem kazanan bu finansal yatırım araçlarından birisi hisse senedi veya tahvil gibi kıymetli kâğıtlar yani menkul kıymetlerdir. Bunun en büyük nedeni, menkul kıymetlerin küçük tasarruflarla satın alınabilmesi, istenildiği zaman paraya çevrilebilmesi ve aynı zamanda da sahibine bir getiri sağlamasıdır.

Hisse senetlerinin analizi, pek çok bilim insanının dikkatini çekmiş ve hisse senetlerinin analizi için değişik yöntemler geliştirilmiştir. İktisat biliminin alt konusu olan finans, bu konuda çeşitli teoriler geliştirmiş, menkul kıymet yatırımlarının risk ve getirisini ölçmeye çalışmıştır.

Günümüzde davranışsal finans öğretisi kapsamında, menkul kıymet verilerinin, zaman serileri olarak analiz edilebilmeleri sağlayan yeni teknikler geliştirilmiştir. Özellikle, bilişim alanındaki gelişmeler, verilerin toplanmasını, depolanmasını ve analizini kolaylaştırmıştır.

Bu tezin amacı; ekonomik zaman serilerini kullanarak, Borsa İstanbul Ulusal 100 Endeksi'ni spektral analiz yöntemiyle incelemektir. İleri seviyede bir teknik analiz

tekniki olan spektral analiz yöntemiyle endeksteki döngüsel hareketler belirlenebilecek ve ileriye yönelik tahminler yapılabilecektir.

Tezin kapsamı ise, konunun anlaşılması için oldukça geniş tutulmuştur. Bu kapsamda, öncelikle, tasarruf ve yatırım ilişkileri, temel finans teorileri, hisse senetleri fiyatlarının oluşumu kavramı, yatırımın temel özelliği olan risk-getiri ilişkisi konunun anlaşılması için temel unsurdur. Bu temel konuların yanında, spektral analizin temelini oluşturan zaman serileri ve ekonomik zaman serileri analizi, günümüzün önemli ve yeni bir analiz tekniği olarak ortaya çıkmaktadır.

Ekonominin bir parçası olan finansman ile ilgili olarak da pek çok teori, araştırma ve analiz bulunmaktadır. Farklı ülkelerde farklı zamanlarda ve farklı zaman dilimlerinde yapılan bu çalışmaların farklı sonuçlar ortaya koyması son derece normaldir. Dünya sürekli bir değişim içerisindedir. Farklı unsurlar farklı periyotlarla sürekli değişim göstermektedirler. Bu değişimin sosyal, ekonomik, kültürel, siyasal ve benzeri gibi pek çok etkeni bulunmaktadır. Ancak, bu etkenler bile değişim sonucunda etkilenip değişmektedirler.

Ekonomik faktörler ve sonuçlar da bu hayatın bir parçası olup, bunları diğer unsurlardan bağımsız olarak düşünmek ve analiz etmek mümkün değildir. Bir araştırmacı bir konuyu araştırırken eğer tüm unsurları göz önüne alırsa elde edeceği sonuç daha verimli ve etkin olacaktır. Ancak, bu kapsamda bir araştırmayı yapmak için araştırmacının öncelikle yapılmış çalışmalara ulaşabilmesi gereklidir. Bugün, internet çevrimiçi kütüphaneler ve resmî internet siteleri vasıtasıyla bu tür verilere erişimi çok kolaylaşmıştır.

Borsalar hakkında yapılmış olan çeşitli teorik ve ampirik çalışmalar, hisse senedi fiyat davranışlarının sadece birer sayıdan ibaret olmayıp, piyasadaki o anki bilgilerin birer ifadesi olduklarını göstermiştir. Bu kavram etkin piyasalar teorisinin bir parçası olsa da, uygulamacılar ve politikacılar açısından hisse senetlerinin geleceğini tahmin etmek önemli bir konu olmuştur. Uygulamacılar, yatırımlarını yönlendirmek ve ticarî kazanç sağlamak amacıyla; politikacılar ise, mali ve para politikalarını belirlemek ve sonuçlarını değerlendirmek için, borsalara özel önem göstermişleridir. Fiyatlardaki olağanüstü ve rastgele değişim hem yatırımcılar hem de politikacılar için bazı ekonomik

işaretler vereceği için endişe yaratabilir. Bu nedenle, hisse senetlerinin tahmini konusu ekonomiler açısından önemli bir ölçüt olmaktadır.

Ekonomik gelişimler tarihi boyunca Markowitz, Miller, Modigliani, Sharpe, Fama, Ross, Jensen, Meckling, Shiller, Tobin, Granger, Hatanaka, Morgenstern gibi pek çok araştırmacı buldukları koşullara göre teoriler geliştirmişlerdir. Bu teoriler genellikle kendi ekonomik sistemleri için doğru sonuçlar verirken, bu teorileri farklı ekonomilere uygulamak sadece bazı koşulları varsayarak çıkarım yapmaktan ileriye gidemeyecektir. Ayrıca, teorilerin geliştirildiği zaman dilimi ve ekonomilerin içinde bulunduğu şartlar da farklılık göstermektedir. Ayrıca, ekonominin farklı alt bölümleri arasında da farklı teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, ekonomistler ekonomiyi sürekli dengede tutan eşitlikleri formüle etmeye çalışırken; etkin piyasa teorisyenleri finansal sistemdeki fiyatların anlık bilgiyi yansıttığını, dolayısıyla tahmin edilemeyeceği biçiminde aksi görüşlerde bulunurlar. Aslında, son yıllarda yapılan çalışmalar, piyasaların tamamıyla etkin olmadığı ve pek çok farklı faktör tarafından yönlendirildikleri ortaya koymuştur.

Dolayısıyla, İstanbul Borsa'sının verilerini doğru analiz edebilmek için sadece bu teorileri doğru çözümlenmek yeterli olmayacaktır; bunun yanında İstanbul Borsası'nın yapısını, çalışma şeklini ve diğer borsalara göre farklılıklarını da anlamak, analizin güvenilirliği açısından önemlidir. İstanbul Borsası, 30 yıllık bir borsa olarak genç bir borsadır ve yeterince gelişmemiştir. Bu durumda, gelişmiş ülke araştırmacılarının teorilerini ülkemiz borsasına doğrudan uygulamak hatalı sonuçlar verebilir.

Son 30 yıldır ekonomi alanındaki değişimler, özellikle ekonomi eğitimine önem verilmesi, ülkemizin giderek önemli bir ticaret merkezi haline gelmesi, borsaları ülkemizin ekonomik sistemin önemli bir unsuru haline getirmiştir. Kısa vadeli kazanım sağlama amacı yerini, borsaların temel fonksiyonu olan yatırımcılar ile finansman ihtiyacı olanları bir araya getirme amacına bırakmaktadır. Dolayısıyla, finansal piyasaların davranışsal özellikleri de toplumun tüm grupları tarafından ilgilenilen bir olgu haline gelmiştir. Bu davranışsal özellikler karmaşık bir yapıya sahip olup, geleneksel analiz teknikleri ile çözümlenemeyebilirler. Finansal piyasa davranışları

içinde gizlenmiş pek çok bilgiyi, verileri farklı bir uzay düzlemine taşıyarak analiz etmek bu davranışların yapısı hakkında daha doğru bilgiler verecektir.

Spektral analiz, zaman düzlemindeki verileri frekans düzlemine çevirerek bu davranışların döngüsel tekrarı veya frekansı ve bu frekansın dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Çapraz spektral analiz yöntemiyle de farklı olaylar analiz edilebilir ve bu olayların birbirini nasıl etkiledikleri yine frekans düzleminde incelenebilir. Öncelikle astronomi, meteoroloji ve jeofizik bilim dallarında kullanılan zaman serisi analizi, istatistikçilerin ve diğer araştırmacıların gerçek dünyadaki verilerin de birbirinden bağımsız olamayacak kadar düzgün ve belli bir dönemsel salınım içerisinde hareket etmelerini gözlemlenmeleriyle gelişmiştir. Böylece, dönemsel hareketleri belirleyerek sinüzoidal eşitlik haline getirerek incelemek mümkündür. Sinüzoidal fonksiyonlar ise, zaman serilerinin zaman düzleminde frekans düzlemine geçişini sağlayarak, olayların spektral tekniklerle analiz edilmesini sağlamıştır. Spektral analizin, ekonomik ve finansal verilerdeki düzgünlük ve rastgelelikle başa çıkabilme özelliği, diğer istatistiki düzgünleştirme tekniklerinde olduğu gibi veri kaybına neden olmaması ve durağanlık varsayımından hareket etmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Spektral analiz, ekonomik verilerin bu davranışına matematiksel bir yaklaşım getirerek düzgün ve rastgele olan hareketleri formüle edebilir. Spektral analizin bir parçası olan spektral güç ve grafiği ise, varyansın frekansa göre gösterimidir ve önemi olan periyodik salınımlar, diğer bir deyişle serinin özelliklerini gösteren döngüsel hareketler bu grafikte, karşılık gelen frekanslarında görece tepeler oluşturarak, analizciye zaman düzleminde görülemeyen bilgileri sunar.

Analizde kullanılan veri seti; Borsa İstanbul Ulusal 100 endeksinin kapanış verileridir. Borsa İstanbul'dan elde edilen, 4 Ocak 1998 – 8 Ocak 2015 tarihleri arasındaki Ulusal 100 Endeksinin, Türk Lirası hesaplamaları ile kapanış, en yüksek, en düşük değerleri ve bu değerlerin Euro ve ABD Doları cinsinden karşılıklarıdır. Borsa İstanbul, 4 Ocak 1998 – 31 Aralık 1994 tarihleri arasında tek seanslı, 2 Ocak 1995 sonrasında ise, çift seanslı olarak hizmet sunmuştur. Verilerin, seans kapanış verileri olmasına rağmen; kullanılan programların, bilgi işlemci güçlerinin ve program bilgisinin, en fazla tarihsel verileri (haftalık) analiz yapabilmeye yeterli olması, tarih

yanında saat verisiyle işlemlerde sağlıklı sonuç elde edememe olasılığı bulunması nedeniyle, analizlerde sadece haftalık kapanış fiyatları kullanılmıştır. Ayrıca, 2 Ocak 1995 öncesindeki veriler, spektral analiz için uygun olmaması nedeniyle analize dâhil edilmemiştir.

Tezin başarı koşulu ise, Borsa İstanbul Ulusal 100 Endeksinin spektral yöntemle kabul edilebilir bir analizinin yapılması ve borsa endeksindeki döngüsel hareketlerin periyotlarının belirlenmesidir.

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Konunun anlaşılır olması için, hisse senedi piyasalarının dayanağı ve temel kavramı olan tasarruf ve yatırım kavramları, finans teorileri, menkul kıymetler ve menkul kıymetler analiz teknikleri çalışmanın birinci bölümünde detayları ile verilmiştir. Borsalar üzerinde yapılan farklı analiz teknikleri ve bu tekniklerin teorik dayanakları ile birbirleri ile çakıştıkları ve çarpıştıkları noktalar açıklanmıştır. Menkul kıymetler ve spektral analiz konularıyla ilgili literatür çalışmaları da bu bölümde sunulmuştur.

İkinci bölümde ise, zaman serileri ve spektral analiz kavramları teorisi açıklanmıştır. Spektral analiz tekniği, günlük hayatta yaşanan belli bir döngüye sahip olaylar için yeni ve farklı bir gösterim ve analiz tekniği olduğu; ayrıca oldukça karmaşık matematiksel eşitliklerle çözülebildiği için konunun ayrıntıları ile anlatılmasına çalışılmıştır. Günümüz şartlarında örnekleme gerek kalmadan tüm verileri elde etmek ve bu verileri anlık olarak işlemek ve analiz etmek mümkündür. Böylece, istatistik bilimi de farklı bir aşamaya geçmekte ve anlamlılık düzeyi artan analizleri yapabilmesiyle toplumun gelişmişliğine daha fazla katkıda bulunabilmektedir. Ancak, ortaya çıkan sorun ise, verilerin doğruluğunun ve sahte bir kaynak tarafından üretilip üretilmediğinin tespitidir. Çünkü, sahte veriler analiz çalışmalarının sonucunu yanıltabilmektedir. Bu konudaki yeni tartışma, yapılan spektral analizlerin sağlamlığının yapılması tekniklerinin geliştirilmesi olabilir.

Üçüncü bölümde, öncelikle, Borsa İstanbul'un yapısı ve özellikleri açıklanmıştır. Borsayı etkileyen faktörler kısaca açıklanmıştır. Bu bölümün esas konusu ise, Borsa İstanbul Ulusal 100 verilerinin spektral analiz tekniği ile analiz edilmesidir. Yaklaşık 30 yıllık bir geçmişe sahip İstanbul Borsası'nın bu süre içinde farklı

faktörlerin etkisinde olması analizin doğru olarak yapılmasını zorlaştırmaktadır. Zaman serileri, ekonomik döngüleri trend, konjonktür, mevsimsel olarak ayırmasına rağmen, Türkiye’de bu 30 yıl süre içerisinde ekonomik sistem değişikliğe uğramış, serbest piyasa ekonomisi ve sonrasında kapitalizme geçiş gerçekleşmiştir. Bu bağlamda, Ulusal 100 endeksinin bir trende sahip olduğu dolayısıyla, endeksin oluşturduğu zaman serilerinin durağan bir yapıya sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Analiz, hem trendi ayrıca ayırtırmayı gerektiren klâsik spektral analiz tekniği, hem de trendi kendisi ayırtıran modern spektral analiz tekniği yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise, yapılan analizler değerlendirilmiş, gelişmiş ve gelişmekte olan borsalar üzerine spektral analiz tekniği kullanılarak yapılmış analizlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yeni bir konu olan spektral analiz tekniğinin geliştirilmesi için yapılması gerekenler önerilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

MENKUL KIYMETLER KAVRAMI VE ANALİZİ

1.1. YATIRIM

Menkul kıymetler kavramını açıklamadan evvel, bu kavramın oluşmasına neden olan yatırımı irdelemek faydalı olacaktır. Yatırım, pek çok anlamda kullanılabilir. Gerçek anlamı ancak kullanıldığı yere bakılarak çıkarılabilmektedir¹. Charles A.D'Ambrosio yatırımları; ekonomik, tüketici ve finansal yatırımlar olarak ayırmaktadır². Bu çalışmada incelenecek yatırım türü finansal yatırımlardır.

Ekonomik anlamda yatırım, toplumun sermaye stoğuna yapılan net ilâveleri kapsamına almaktadır. Diğer bir anlatımla, mal ve hizmet üretimi için yapılan gerçek sermaye yatırımlarıdır. Bu tür yatırımlar gayri safi milli hasılanın (GSMH) tamamlayıcı bir parçasıdır; dolayısıyla, toplam harcamalar olarak $Y = C + I + G + (X - M)$ eşitliği ile gösterilen GSMH'nın I ile gösterilen kısmıdır.

Tüketici yatırımı, halkın günlük hayatta kullandığı yatırım kavramı olup, genellikle tüketicilerin satın aldıkları dayanıklı tüketim mallarını ifade etmektedir³. Bunun dışında, oturmak için alınan ev, kullanmak için alınan otomobil gibi, eldeki paranın değerini korumasını veya değer kazanmasını sağlayacak yatırımlar da tüketici yatırımı sınıfındadır.

Finansal yatırımlar ise, finansal varlıklara, yani hisse senedi, tahvil ve benzeri menkul kıymetlere yapılan yatırımlara finansal yatırım denmektedir⁴. Finansal anlamda yatırım yapıldığında, tasarruf edilen paraların ekonomik anlamda verimli alanlara yatırılıp yatırılmaması önemli değildir. Önemli olan nokta, fonların ileride bir getiri sağlaması amacı ile bir yere yatırılmasıdır. Kişisel tasarrufları ekonomiye kazandıran finansal yatırım, günümüz ekonomilerinin gelişmesini ve sürdürülebilirliğini sağlamak

¹ BEKÇİOĞLU, Selim, "Menkul Kıymet Analizleri ve Türkiye'deki Uygulama", Doktora Tezi, Ankara, 1983, s.1.

² D'AMBROSIO, Charles A, "A Guide to Successful Investing", Prentice-Hall, New Jersey, 1970, s.9.

³ AMLING, Frederick, "Investments: An Introduction to Analysis and Management", 3ncü Baskı, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1974, s.4.

⁴ ROBINSON, I. Roland; WRIGHTSMAN, Dwayne, "Financial Market: The Accumulation and Allocation of Wealth", McGraw-Hill, Hill Book Company, New York, 1974, s.434.

için en önemli bir yatırım şeklidir. Dolayısıyla, finansal yatırım kavramını irdelemeden önce tasarruf kavramını incelemekte fayda vardır.

1.1.1. Tasarruf

Kişisel tüketim harcamalarına ayrılmayan gelir miktarına tasarruf denir. Bireyleri tasarruf yapmaya yönelten faktörler oldukça karışık bir yapıya sahiptir. Kişisel ve davranışsal faktörler, gelir seviyesi, servet, tüketim alışkanlıkları, toplumsal yapı, çevresel faktörler ve bunun gibi pek çok faktör tasarrufları etkilemektedir. Ancak, tasarruf yapma nedeni ne olursa olsun, tasarruf düzeyi ekonomik koşullardan etkilenmektedir⁵.

Kendi tasarrufumuz altında bulunan birikmiş varlıkların hepsi serveti meydana getirir. Diğer bir deyişle, servet karşılığında diğer mal ve hizmetle değiştirilebilecek olan birikmiş varlıklardır⁶. Bunlar bazen ev, bazen de sigorta primleri, ziynet eşyası ve dayanıklı tüketim malları şeklinde olabilir. Bazı zamanlar da servetimize fiziksel olmayan kaynaklar da, örneğin maharet, eğitim ve bilgi, patentler, lisanslar ve fikri haklar da dâhil edilebilir. Bütün bunların hepsi servetin temel unsurlarını oluşturur ve bunlar üzerinde bireylerin kontrolü vardır⁷.

Ekonomik faktörler ise, gelir seviyesi, hükümet politikaları, para politikaları, tasarruf yapmayı kolaylaştıran faktörler, üretim ve ticarete yönelik politikalar en önemli olanlar olarak sayılabilir. Özellikle, siyasi istikrar, tasarruf ve yatırım yapma isteğini artırır. Bir ülkede hükümetlerin sürekliliği, hem yabancı, hem de yerli yatırımcı için güven kaynağı oluşturur; dolayısıyla yatırım yapılabilir bir ülkede tasarrufların da artması beklenir. Verimli bir ekonomik faaliyetin gerçekleşmesi için gerekli ana faktörlerin temeli, toplum dâhilinde kanun ve düzenin korunmasıdır. Hür toplumlarda, düzen hukuk devleti anlayışı ile korunur. Bu demektir ki, her vatandaş eşittir ve yasal olarak saptanan yollar dışında herhangi bir vatandaşa herhangi bir şey yapılamaz. Hukuk düzeni, kanunların, demokratik usuller çerçevesinde, halk tarafından kaldırılmasını ve değiştirilmesini sağlar. Bunun aksi bir durum, anarşi durumu yaratır ki, böyle bir ortamda yatırımların yapılmasına olanak kalmayacaktır⁸. Örneğin, iç savaş

⁵ ROBINSON, Roland I; WRIGHTSMAN, Dwayne, age., s.32.

⁶ PETERSON, Wallace C., "Income, Employment and Economic Growth", Gözden Geçirilmiş Baskı, W.W. Norton and Company Inc., New York, 1967, ss.32-37.

⁷ BEKÇİOĞLU, Selim, age., s.14.

⁸ BEKÇİOĞLU, Selim, age., ss.17-18.

nedeniyle Suriye’de hukuk düzenin kalmaması bu ülkedeki pek çok çok-uluslu şirketin faaliyetlerini durdurmasına ve başka ülkelere yönelmelerine neden olmuştur.

Diğer bir ekonomik faktör de, istikrarlı para politikalarıdır. Emniyet bakımından muhtemelen ancak hukuk düzenini takip eden unsur, sağlam ve istikrarlı paraya olan ihtiyaçtır. Fiyatların istikrarlı olduğu bir ekonomide yatırımcılar gerçek değerleri parasal değerle özdeşleştireceklerdir. Fakat, fiyat hareketlerinin büyük olması, özellikle fiyatların artması yani enflasyon halinde, bu özdeşlik yok olacaktır⁹. İşte bu noktada, paranın fonksiyonlarının bir tanesi olan “değer saklama” fonksiyonu iş görmez hale gelecek ve kişiler tüketime yönelip, tasarruftan kaçınacaklardır. Sonuçta, yatırımcılar tasarruf etme yeteneklerinin azalması nedeniyle sermaye birikiminde meydana gelen büyük düşüşler sonucu, toplumun hepsi zarar göreceklerdir¹⁰. Diğer yandan, fiyat düzeylerinin düşmesinin ortaya çıkardığı diğer dengesizlik durumu ise deflasyondur. Deflasyon sonucu, istihdam azalmakta bu durumda, sonuçta gelirleri azaltarak tasarrufların ve yatırımların azalmasına neden olacaktır. Görüleceği üzere, ekonomik faaliyetler enflasyon ve deflasyon aralığında salınım yaparak hareket etmektedir. Bu çalışmanın konusu olan borsa endeksinin spektral analiz yöntemiyle incelenmesinin temeli, ileriki bölümlerde de detaylı inceleneceği gibi, ekonomik olayların bu salınım hareketine dayanmaktadır.

Sosyal faktörler ise, toplumun yatırım araçlarına bakışı, tüketim alışkanlıkları ve davranışsal etkenler olarak sıralanabilir. Pek çok gelişmiş ülkedeki yatırım araçlarının aksine, ülkemizde ABD doları, Euro ve bunun gibi dövizler; altın, gümüş gibi değerli madenler yatırım aracı olarak değerlendirilmektedir. Bunun öncelikli nedeni, ülkemizde uzun yıllar devam eden istikrarsızlık ve bunun sonucunda Türk Lirası’nın sürekli olarak değer kaybetmesine karşı bireylerin, tasarruflarının değerini koruma istekleridir. Ayrıca, Türkiye gibi insan ilişkilerinin yoğun olduğu kültürlerde, davranışsal faktörler bireylerin yatırım kararlarını etkilemektedir.

Yatırım yapılacak alanlarla ilgili bilginin doğru ve hızlı şekilde tasarruf sahiplerine ulaştırılması; spekülasyon ve özellikle manipülasyona dayalı hareketlerin en aza indirgenmesi; aracı kuruluşların doğru analiz yapmaları ve bilgileri tüm

⁹ ROSE, H.B., “The Economic Background to Investments”, The University Press, Cambridge, 1963, s.122.

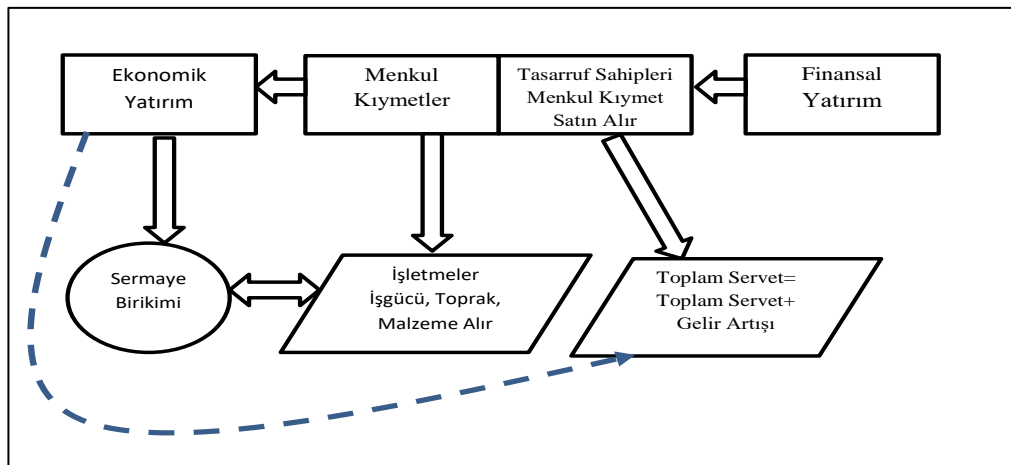
¹⁰ SRIVESTAVA, J.M., “Financial Organizations in Theory and Practice”, Atma Ram and Sons, Delhi, 1962, s.77.

yatırımcılarla paylaşımları, yatırım sürecine güveni artıracığı için bireylerin de tasarruflarını artırmalarını sağlayacaktır.

1.2.1. Finansal Yatırım

Finansal yatırımı yapacak yatırımcı, yatırımdan doğacak bütün riskleri yüklenmekte, fakat aynı zamanda riskleri minimum tutmağa çalışırken, kendi öz varlığını maksimum kılmağa çalışmaktadır. Finansal yatırımcı gerçek varlıklar, yani işletme üzerinde direkt kontrole sahip değildir. İşletmeyi kendisi için yönetenlerin yeteneklerine güvenmek zorunda kalmaktadır. Dolayısıyla, yatırım yapılacak işletmeler ve yöneticileri hakkında mümkün olduğunca fazla ve doğru bilgiye ulaşmak yatırımın verimliliği açısından önemli olmaktadır. Bunun yanında, işletmenin kamuya açılmış geçmiş ve güncel finansal bilgileri yatırımcı için karar vermede önemli gösterge olmaktadır.

İşletmeler, daha fazla mal ve hizmet üretebilmek için çeşitli üretim faktörlerine örneğin toprak, emek, sermaye gibi ihtiyaç duyarlar. Bunları sağlamak için gerekli olan sermayenin bir kısmını kurucu ortakların kendileri daha önceden öz sermaye olarak koymuşlardır. İşletme üretim araçlarını geliştirmek için hisse senedi, ya da tahvil çıkarır. Bunların satışından sağladığı fonlarla gerekli araçları, emeği, araziyi, hammaddeleri ve diğerlerini satın alır. İşte bu anda ekonomik ve finansal yatırım aynı anda gerçekleşmiş olur. Çünkü, işletme elde ettiği fonları yeni ve verimli varlıklara yatırmakta, finansal yatırımcı ise, menkul kıymet satın almaktadır. Bu anlamda, finansal yatırım ile ekonomik yatırım arasında oldukça yakın bir ilişki vardır. Bu ilişki aşağıda Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Ekonomik Yatırımla Finansal Yatırım Arasındaki İlişki

Paranın menkul kıymetler ile değiştirildiğini gösteren ortadaki dikdörtgenler birbiriyle bitişiktir. Yatırımcılar tarafından menkul kıymetlere bağlanan paraların kaynağı, yatırımcıların sahip oldukları nakdî ve aynî servetlerdir. Servet aynı zamanda her günlük yaşam için gerekli olmayan artık gelirleri, yani tasarrufları da kapsamına almaktadır. Nereden gelirse gelsin servet ve tasarrufların kaynağı gelirdir. Çünkü, servet bize başkalarından geçmiş olsa bile, söz konusu servetin oluşması yine geçmişteki gelirden yapılan tasarruflara bağlı kalmıştır¹¹. İşletmelerin sağlamış olduğu gelir, ekonomik yatırım kutusundan çıkan kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu çizgi, ekonomik yatırımın toplam servet üzerindeki etkisini göstermektedir. Görüldüğü gibi, ekonomik ve finansal yatırım arasındaki ilişki, dairesel bir süreçtir. İşletmeler, ekonomik yatırım yaparak, yatırımcılara gelir sağlamakta, yatırımcılar da bu gelirden harcamadıkları kısmı, yani tasarruflarını işletmelere tekrar yatırmaktadırlar. İşletmeler ise bu paraları tekrar ekonomik yatırımlara dönüştürmekte ve bu dairesel süreç devam edip gitmektedir¹². Matematik ve fizik bilimleri bakış açısından dairesel süreçler, salınım hareketleri ile ilişkilidir ve salınım hareketleri bir veya daha fazla frekansa sahiptir. Bu çalışmanın konusu olan hisse senetlerinin spektral analizle incelenmesinin temel dayanaklarından biri de yukarıda belirtilen bu dairesel süreçtir.

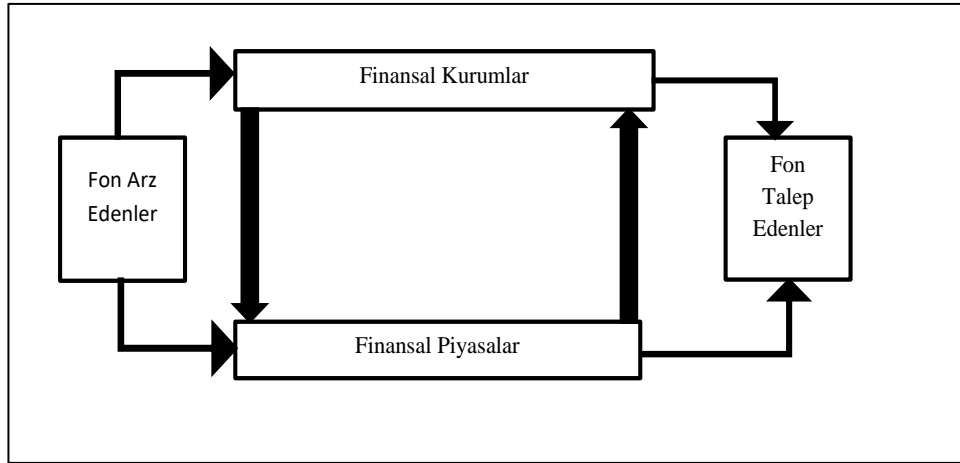
Ancak, işletmeler sürekli menkul kıymet arz etmedikleri için, piyasalardaki yatırım işlemleri genellikle, menkul kıymetlerin el değiştirmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla da, elde değiştiren hisse senetlerinin fiyatlarının artması işletmelere sermaye sağlarken, fiyatlarının düşmesi sermaye kaybına neden olmaktadır.

1.3.1. Yatırım Sürecinin Yapısı

Şekil 1.2. tüm yatırım sürecini göstermektedir. Bu süreçteki gerekli gruplar; fon arz edenler ve fon talep edenlerdir. Her iki grup da bireyler, işletmeler ve hükümet gibi ekonomik birimlerden oluşmaktadır. Her ekonomik birim, fon arz edebileceği gibi fon da talep edebilir. Fon temin edenler, gelirleri harcamalarından fazla olan ekonomik yapılardır. Fon talep edenler ise, harcamaları gelirlerinden az olan dolayısıyla, giderler – gelirler farkı negatif olup, bu farkı veya açığı finanse etmek zorunda olan ekonomik yapılardır.

¹¹ PETERSON, Wallace C., age., ss.32-37.

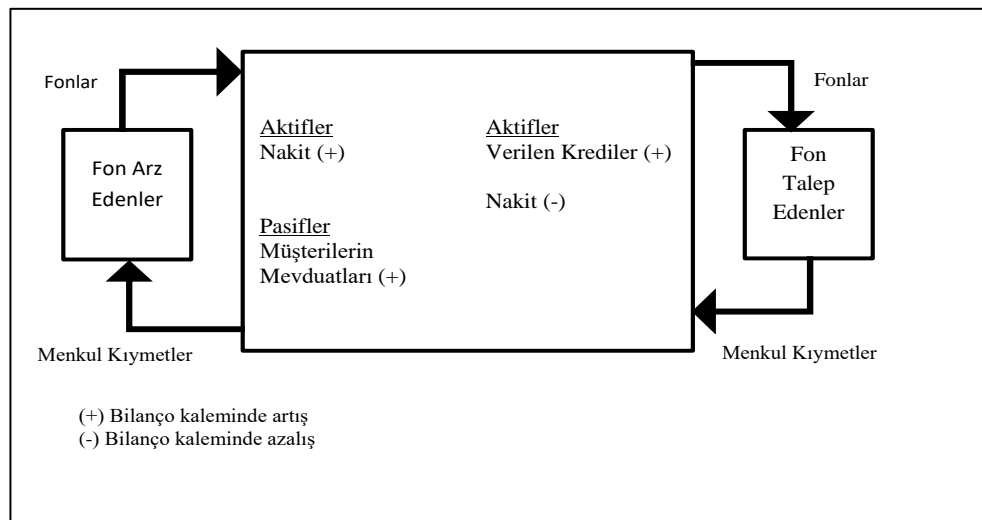
¹² BEKÇİOĞLU, Selim, age., ss.5-8.



Şekil 1.2: Yatırım Sürecinin Yapısı

Kaynak: CİVELEK, Mehmet A.; DURUKAN, M. Banu, “Investments”, 3ncü Baskı, Elif Yayınevi, 2011, Ankara, s.6.

Şekil 1.2’deki diğer öğeler ise finansal kurumlar ve finansal piyasalardır. Finansal piyasalar, fon arz edenlerle fon talep edenlerin bir araya gelerek, finansal işlemlerin yapıldığı yerlerdir. Bu finansal işlemlerin gerçekleşme hareketleri Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Genellikle menkul kıymetler formunda olan bu işlemler, bankalar, aracı kuruluşlar, sigorta şirketleri gibi finansal kurumlar tarafından gerçekleştirilir¹³.



Şekil 1.3: Finansal Aracılık

Kaynak: CİVELEK, Mehmet A.; DURUKAN, M. Banu, “Investments”, 3ncü Baskı, Elif Yayınevi, 2011, Ankara, s.7.

¹³ CİVELEK, Mehmet A.; DURUKAN, M. Banu, “Investments”, 3ncü Baskı, Elif Yayınevi, 2011, Ankara, ss.5-7.

Fon arz edenler veya tasarruf sahipleri, yatırımlarından iki şekilde getiri beklerler. Birincisi, belli periyodik aralıklarla gerçekleşecek gelir; ikincisi ise, yatırımlarındaki değer artışıdır. Yatırımlardan elde edilecek kazanç değerlendirilirken, yatırımların riski değerlendirilmelidir. Risk ve kazanç birbirinden ayrılmayan ve yatırımların değerlendirilmesinde temel olarak ele alınması gereken faktörlerdir.

1.4.1. Risk Kavramı

Finans teorisinin önemli kavramlarından biri olan risktir. Risk, beklenen sonuç ile gerçekleşen sonuç arasındaki sapmadır. Finansal anlamda risk, finansal varlıkların gerçekleşen getirilerinin yatırımcılar tarafından beklenen getirilerden sapsması olarak tanımlanabilir. Finans teorisi açısından risk, menkul kıymetlere yatırım yapılırken ve yapılan yatırımın getirisinin analizinde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür. Riskten kaçmak için matematik ve istatistik biliminin de yardımıyla değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en gelişmiş olan spektral yöntem, riskin kaynaklarına göre analizinde de yol gösterici olabilir.

Risk belirsizliğe maruz kalmaktır. Yapılan her yatırım gelecekle ilgili bir karar olduğundan ve ayrıca hiç bilginin kesin olmayışı, yani çeşitli faktörlerin kapsadığı ihtimal payı nedeniyle yatırımcı her zaman bir belirsizlik unsuru ile karşı karşıya bulunacaktır¹⁴. Sonuç ancak yatırım, vadesi geldiğinde kesin olarak anlaşılacaktır. Gelecekle ilgili bu belirsizlik risk olarak adlandırılır. Yapılan yatırımın gelecekte ne verimlilikte sonuç vereceğinden kaynaklanan risk dışında, bir de yatırımın niteliğinden kaynaklanan risk de mevcuttur. Bu risk, yatırımın hiç geri dönmeme riskidir ve subjektif kriterlerle ve istatistiksel analiz ve karar alma teknikleri ile objektif olarak belirlenebilir¹⁵. Yatırımcının üzerine aldığı bu risk, reel faiz üzerine eklenen risk primi ile karşılanır. Bu nedenle, nakit akımları aynı olan farklı yatırım seçeneklerinden, risk seviyeleri eşit olmadığı takdirde, riski daha düşük olan yatırım seçeneği tercih edilecektir¹⁶. Diğer taraftan, borç verilerek elde edilecek faiz gelirinde hesaplanacak nominal faiz oranı, enflasyona göre deflete edilip risk primi de düşüldükten sonra kalan oran net faiz oranıdır.

¹⁴ TURANLI, Münevver, "Pazarlama Yönetiminde Karar Alma", 2nci Baskı, Beta Basım A.Ş., İstanbul, 1988, s.1.

¹⁵ TURANLI, Münevver, age., s.22.

¹⁶ ERTUNA, İ. Özer, "Yöneticiler için Finans (Bilgisayar Uygulama Örnekleriyle)", AR-DAN Yönetim Serisi:1, B/F/S Yayınları, İstanbul, 1987, s.141.

1.5.1. Riskin Tanımı ve Çeşitleri

Riskin sözlük anlamı, gelecekte beklenmeyen bir durumun ortaya çıkma olasılığı, yaralanma, incinme ve zarara uğrama şansıdır¹⁷. Finansal açıdan risk ise bir olay veya sonucun (portföy verimi gibi) gerçekleşmesi ile ilgili ortaya çıkan belirsizlik olarak tanımlanabilir. Bu olaylarla gerçekleşme olasılıkları arasındaki ilişki olasılık dağılımı olarak bilinir. Bu tür belirsizliği ölçmede kullanılan temel istatistiksel teknik standart sapma veya onun karesi, yani varyanstır. Olasılık dağılımına ilişkin standart sapma ne kadar yüksekse, risk veya belirsizlik o kadar yüksek demektir¹⁸. Getiri, bir yatırımdan belirli bir dönem içinde yapılan yatırıma karşılık elde edilen geliri göstermektedir¹⁹. Bir menkul kıymetin getirisi yatırımcına sağladığı kazançla ilgilidir. Risk ve getiri birbiriyle doğru orantılı olan kavramlardır. Eğer riskli bir yatırım aracına sahip olunmak isteniyorsa, o yatırımdan beklenen getiri de yüksektir. Düşük getiri beklentisiyle bir yatırım aracına sahip olunmak istenmez. Risksiz bir yatırım aracından yüksek bir getiri beklenemez. Çünkü, yatırım yapılırken kazanılacak getiri miktarı bellidir.

Genel olarak, yatırımcılar, tercihlerini yaparken gelecekte ne olacağını bilmemektedirler. Ancak, her zaman durum böyle değildir. Risk, bir seçimin sonucunun belirsiz olduğu herhangi bir durumu tanımlar. Genellikle yatırımcılar, getiri oranı hakkında oldukça fazla bilgi sahibi oldukları halde, risk kavramı hakkında yeterli bir bilgiye sahip değildirler. Bu nedenle, risk türleri ve toplam riskin kaynaklarının neler olduğunun açıklanması, bilinçli yatırım kararının alınması yönünde çok büyük önem taşımaktadır²⁰. Bir başka tanımla, her yatırım alternatifinin bir beklenen getirisi, bir de bu getirinin beklenenden sapması olarak değerlendirilecek riski vardır. Yatırımcılar bu iki bileşeni belirli ölçü, teknik, analiz vb. gibi araçlar ile değerlendirerek yapacakları yatırıma değer biçmelerine “değerleme” denir.

Diğer bir konu da riskin toleransının belirlenmesidir. Yatırımcıların riski kabullenebilmeleri kişiye ve çeşitli sebeplere göre değişmektedir. Yaş, sahip olunan

¹⁷ CEYLAN, Ali, “Pay Senedi Değerlemesi”, Uludağ Üniversitesi, İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, Nisan 1983, s.136.

¹⁸ ARSLAN, Mehmet, “Banka Etkinliklerinin Stokastik Dea Yöntemiyle Analizi ve Türk Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama”, Gazi Kitapevi, Ankara, 2004, s.33.

¹⁹ KARAN, Mehmet Baha, “Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi”, Birinci Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2004, s.135.

²⁰ ERGÜN, Ayşe, “Türk Euro Tahvillerinde Fiyat Tahmini ve Risk Analizinin Durasyon ve Konvekslik Yöntemiyle Uygulanabilirliğinin Testi”, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Finansman Anabilim Dalı, Ankara, 2007, Ankara, s.32.

varlıkların değeri, sahip olunan varlıkların çeşidi, finansal sorumluluklar, gelir durumu şeklinde sıralayabilecek unsurlar riskin toleransını belirleyen ana unsurlardır²¹.

Geleneksel yatırım analizi, ortaya çıkış nedenlerine ve etkilerine bağlı olarak, farklı nitelikte risk çeşitleri ve farklı risk grupları üzerinde durmaktadır. Portföy kuramında yatırımcının riski kontrol altına alabilme veya sınırlayabilme olanağının olup olmamasına göre, toplam risk, sistematik ve sistematik olmayan risk olarak iki ana gruba ayrılabilir²².

Sistematik risk, ekonomik, politik ve sosyal yaşamın ve değişkenliğinden kaynaklanmakta, tüm finansal piyasaları ve piyasalarda işlem gören menkul kıymetlerin tümünü etkilemektedir. Şirket yöneticilerinin sistematik riski kontrol etme olanakları yoktur²³.

Sistematik olmayan risk, firmanın ve/veya firmanın bulunduğu endüstriye ait özelliklerin doğurduğu risktir. Yönetim hataları, teknolojik gelişmeler, yeni buluşlar, tüketici tercihinin değişmeler gibi etmenler, pay senetlerinin veriminde sistematik olmayan oynamalara yol açabilir. Firma yönetimi, sistematik olmayan risk kaynakları üzerinde bazı hallerde sınırlı olmakla beraber, doğrudan kontrol olanakları vardır. Sistematik olmayan risk, yatırımcı açısından portföy teorisi kullanılarak giderilebilecek bir risktir.

Bunu formül olarak gösterirsek;

$$\sigma_i^2 = \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sigma_e^2 \quad (1.1)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada;

σ_i^2 : yatırım yapılan menkul değerlerin toplam riskini,

β_i^2 : menkul kıymetin sistematik riske karşı duyarlılığını,

σ_m^2 : sistematik riski,

σ_e^2 : menkul kıymetin kendisine özgü olan ve sistematik olmayan riskini

göstermektedir.

²¹ ERGÜN, Ayşe, “Türk Euro Tahvillerinde Fiyat Tahmini ve Risk Analizinin Durasyon ve Konvekslik Yöntemiyle Uygulanabilirliğinin Testi”, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Finansman Anabilim Dalı, Ankara, 2007, Ankara, ss.33-34.

²² CEYLAN, Ali; KORKMAZ, Turhan, “Sermaye Piyasası ve Menkul Değer Analizi”, 2nci Baskı, Ekin Kitapevi, Bursa, 2004, s.443.

²³ TUNA, Kadir, “Finansal Risk Yönetimi”, İstanbul Üniversitesi Sigorta Acenteliği Eğitim Programı, İstanbul, Aralık 2009, s.11.

1.6.1. Riskten Kaçış ve Portföy Oluşturulması

Portföy kuramında çeşitlendirme ile portföy riski arasında bir ilişki olduğu varsayılır. Çeşitlendirmede amaç riski azaltabilmektir. Tabii ki burada sistematik ve sistematik olmayan riski ayırmak gerekir. Portföy ne kadar çeşitlenirse çeşitlensin, sistematik risk değişmeyecektir. Her portföy için mutlaka bir sistematik risk mevcuttur ve portföyün çeşidine göre seviyesi değişebilmektedir. Sistematik olmayan risk ise, iyi bir çeşitlendirme ile düşürülebilir. Çok iyi çeşitlendirilmiş bir portföyde sistematik olmayan risk, sistematik risk seviyesine kadar indirilebilir.

Portföy, çeşitli menkul kıymetlerden meydana gelen belirli bir kişi veya grubun elinde bulunan finansal nitelikteki kıymetlerdir. Her ne kadar portföy belirli menkul kıymetlerden oluşsa da menkul kıymetler arasında ilişki olduğundan, portföy kendine öz, ölçülebilir nitelikleri olan bir varlıktır. Bu nedenle, portföy içerdiği menkul kıymetlerin basit bir toplamı değildir.

Yatırımcı açısından karar vermek için, portföy riskinin ve getirisinin ölçülmesi gerekmektedir. Yatırımcı için, yatırım fırsatları içerisinde karar vermek, yalnızca tek tek menkul kıymetler arasından seçim yapmak değildir. Portföy riski, portföyün standart sapması ile ölçülür. Portföy riski, portföyü oluşturan menkul kıymetlerin standart sapmalarının ağırlıklı ortalaması değildir. Bunun nedeni, portföy içi etkileşim nedeniyle, portföy riskinin, portföyü oluşturan menkul kıymetlerin ağırlıklı ortalama riskinden küçük olma olasılığıdır. Hatta teorik olarak, aynı beklenen getiri ve standart sapmaya sahip senetler ile portföy oluşturulduğunda, portföyün standart sapmasının sıfır olması mümkündür. Portföyün standart sapması, içerdiği menkul kıymetlerin getirileri arasındaki ilişkinin yapısına bağlıdır²⁴.

Bu çalışmanın amacı, borsa endeksindeki döngülerin incelenmesidir. Borsa endeksi ise, hisse senetlerinden oluşmaktadır ve hisse senetleri de menkul kıymetlerin bir parçasıdır. Portföy ise menkul kıymetlerden oluşan bir topluluğu ifade eder ve çeşitli menkul kıymetlerden meydana gelen, ağırlıklı olarak hisse senedi, tahvil gibi menkul kıymetler ve türev ürünlerden oluşan, belirli bir kişi veya grubun elinde bulunan finansal nitelikteki kıymetler olarak da ifade edilebilir. Dolayısıyla, bundan sonraki bölümde, endeksi oluşturan hisse senetlerini de içerisine alan menkul kıymetler kavramının açıklanması, konunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir.

²⁴ McCORD, Sammy O.; TOLE, Thomas M., "Portfolio Risk: A Review of Theory and Empirical Evidence", Nebraska Journal of Economics and Business, Cilt 16, Sayı 4, Güz 1977, ss.75-89.

1.2. MENKUL KIYMETLER

Menkul kıymetler ve menkul kıymetler pazarı, finans teorisi temeli üzerine kurulmuş yapılardır. Finans teorisi, sermaye piyasaların ve finansal varlıkların ve değerlerin anlaşılmasında ve bu varlık ve değerlerin risklerinin analizinde çok büyük öneme sahiptir.

Menkul kıymetler ile ilgili ilk araştırmalar Graham ve Dodd (1934) tarafından yapılmıştır. Menkul Analiz adlı yayınlarında, yatırım için menkullerin gerçek değerlerinin belirlenmesini ve bu değerlerin menkulün pazar değerinden farklı olabileceğini belirtmişlerdir. Ancak, menkulün gerçek değerinin belirlenmesinin oldukça zor olduğunu ve bunun varlıkların kazançları, temettüleri, kesin beklentileri gibi gerçekçi faktörlerin kullanılarak yapılması gerektiğini, manipülasyonlardan ve psikolojik harekâtlardan uzak durarak yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir²⁵.

Daha sonraları ise, finansal varlıkların değerlerinin yatırımcıların bugüne indirgenmiş nakit akımları olacağı görüşü ortaya atılmış ve uzunca süre finansal değerlendirme ve analizi olarak kullanılmıştır. Nakit akımı ve faiz oranı bilindiği sürece bugünkü değeri hesaplamak çok kolay olacaktır. Ancak, bu değerler bilinmediği zaman bugünkü değeri hesaplamak çok daha karmaşık bir hal almaktadır. Myron Gordon hisse senedi değerlemesi için bir kural haline gelen denklemini yazan ilk kişi olmuştur*.

$$P_0 = \frac{D_1}{r - g} \quad (1.2)$$

Burada hissenin halihazır fiyatı P_0 , hissenin bir yıl sonra vereceği temettü D_1 ve bu hisse başına temettünün yıllık büyüme oranı g ile gösterilmiştir. Hisse senedinin gerçek değeri, iskonto edilmiş gelecekte beklenen temettü akışıdır. İskonto oranı r , ise pazarın faiz oranına ve hisselerin riskine bağlıdır. Bu formüle göre, temettülerin değerinin veya büyüme değerinin artması hisse senetlerinin fiyatını artıracak, iskonto oranının artması ise, hisse senetlerinin fiyatlarını azaltacaktır. Bu eşitlik ile temettüler, büyüme ve iskonto oranının, hisse senedi fiyatını nasıl etkilediği gösterilmiştir. Ancak

²⁵ GRAHAM, Benjamin ve DODD, David L. "Security Analysis: Principles and Technique", McGraw-Hill Book Company, New York, 1934, s.17.

* Bu formül ilk olarak Gordon ve Shapiro (1956) tarafından sunulmuştur ve daha sonra Gordon (1962) tarafından genişletilmiştir.

bu model, değişik hisse senetlerinin farklı büyüme iskonto oranlarını değerlendirmeye olanak vermemektedir.

Yukarıda da açıklandığı gibi, 1950’li yıllar öncesinde yapılan çalışmalarda, esas olarak, bir işletmenin doğuşu, çeşitli politika kararlarını alışı ve kapanışına kadar olan süreçte, en uygun yatırım, finansman ve temettü dağıtımı gibi politikalar incelenmiş, ancak, finansal piyasalardaki dengenin doğasına yönelik incelemeler yapılmamıştır. Modern finans teorisinin gelişimi, 1950’li yıllara dayanmaktadır. 1950’li yıllarda, finansman teorisi alanında meydana gelen değişmeler esas olarak, ekonomi alanında geleneksel analitik analiz ve metotların finans alanında uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır. Söz konusu gelişmeler, “yatırım, finansman ve temettü politikaları ne olmalıdır?” gibi normatif sorulardan farklı olarak, “yatırım, finansman ve temettü politikalarının firma değeri üzerindeki etkileri nelerdir?” gibi soruların ele alındığı, pozitif teoriler çerçevesinde şekillenmiştir. Böylece işletme politika kararlarının oluşturulmasında ve yürütülmesinde analizler, bilimsel bir temele kavuşmuştur. İşletme politikasının yürütülmesinde pozitif teorilerin önemi, alternatif politikaların arzu edilen sonucu nasıl etkileyeceğine dair, fikir sahibi olmak ve yapılan tercihlerin riski, net aktif akımı ve firma değeri üzerindeki etkilerinin bilinmesi gerekliliğinden kaynaklanır (Myers, 1984).

1950’li yıllardan itibaren modern finans iktisadının temel teorik yapı taşları, sırayla etkin piyasa teorisi, portföy teorisi, finansal varlıkları fiyatlama teorisi, opsiyon fiyatlama teorisi ve temsilcilik teorisi şeklinde ortaya çıkmıştır (Blume ve Siegel 1992).

Bunlar ile birlikte, son zamanlara kadar, teorik modeller menkul kıymet analizlerini, menkul kıymetlerin içinde buldukları piyasanın yapısından bağımsız olarak değerlendirmiştir. Fiyatların, temettülerin, kâr paylarının, faizlerin ve risk faktörlerinin bir fonksiyonu olarak olacağı düşünülmüştür. Ancak, yeni araştırmalarda menkul kıymetlerin içinde buldukları piyasanın yapısına göre fiyat analizi yapılması gerektiği öne çıkmış ve farklı piyasa koşullarında farklı fiyatların oluşacağı görülmüştür (Varlık, 2003).

1.2.1. Menkul Kıymetlerin Dayandığı Finans Teorileri

20. yüzyılın başında, teknolojik gelişmeler ve hızlı sanayileşmenin yarattığı yatırım fırsatlarını değerlendirmek isteyen bireysel yatırımcılar ve kurumlar sayesinde oluşan büyük fon ihtiyacı, araştırmacıları finansal teoriler üzerinde çalışmaya yöneltmiştir. 1930’lu yıllarda, hisse senedi fiyatlarının ilk defa sistematik olarak

ABD’de Alfred Cowles Vakfı* tarafından derlenmeye başlamasıyla birlikte finansal piyasalara dair deneysel çalışmaların önü açılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ise, dönemin baskın iktisadî görüşünü yansıtacak şekilde normatif çerçeve etrafında biçimlenmiştir.

20. yüzyılın ikinci yarısına gelindiğinde iktisattan ayrı bir disiplin olarak gelişiminde önemli bir mesafe kaydeden modern finans teorisi, yapıtaşlarını normatif nitelikler taşıyan neoklâsik iktisadın temel varsayımlarından etkilenecek oluşturmuştur. Modern finans teorisinin gelişimi, 1950’li yıllara dayanmaktadır. 1950’li yıllar öncesinde yapılan çalışmalarda, esas olarak, bir işletmenin doğuşu, çeşitli politika kararlarını alışı ve kapanışına kadar olan süreçte, optimal yatırım, finansman ve temettü dağıtım gibi politikalar incelenmiş, ancak, finansal piyasalardaki dengenin doğasına yönelik incelemeler yapılmamıştır. 1950’li yıllarda, finansman teorisi alanında meydana gelen değişimler esas olarak, ekonomi alanında geleneksel analitik analiz ve metotların finans alanında uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır.

Geleneksel finans teorileri, neoklâsik iktisattan aldıkları temeller uyarınca, yatırımcıları, faydasını en üst düzeye çıkartmak için karmaşık optimizasyon problemlerini başarı ile çözebilen ve duygularının etkisi altında sapmalar (*biases*) yaşamadan rasyonel kararlar alabilen bireyler olarak kabul etmişlerdir. Geleneksel finans teorisinde rasyonel insan, yatırım seçimi yaparken beklenen fayda teorisi ışığında optimal kararlar veren, aksiyomatik yöntemlerle hesaplanabilen tercihler yapan, etkin piyasalar hipotezinin öngördüğü üzere yeni bilgiler ışığında beklentilerini güncelleyebilen ve aynı hataları tekrarlamayan bireydir. “*Homo economicus*” olarak ifade edilen rasyonel insan tipi, geleneksel finans teorilerinin oluşturulması ve test edilmesini sağlayan önemli bir etken olmuştur (Sefil ve Çilingiroğlu, 2011: 248).

1950’li yıllardan itibaren modern finans iktisadının temel teorik yapı taşları, sırayla etkin piyasa teorisi, portföy teorisi, finansal varlıkları fiyatlama teorisi, opsiyon fiyatlama teorisi ve temsilcilik teorisi şeklinde ortaya çıkmıştır. Aşağıda bu teoriler kısaca anlatılmıştır.

- i. Bernoulli'nin Risk Ölçümü Teorisi: Daniel Bernoulli (1700- 1782), riskin ölçümü ile ilgili olarak geçerli bir değer ölçüsünün belirlenmesinde, riskin

* Cowles Vakfı (Cowles Foundation), 1932 yılında bir iş adamı ve iktisatçı olan Alfred Cowles tarafından “Cowles İktisadî Araştırmalar Komisyonu” adıyla kurulan bir iktisadî araştırmalar enstitüsüdür. Enstitü 1939 yılında Şikago Üniversitesi’ne taşınmış fakat artan karşıt görüşler nedeniyle 1950 yılında Yale Üniversitesi’ne taşınmış ve bugünkü adıyla faaliyetlerine devam etmiştir.

sağladığı faydanın dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Fayda ile kastedilen ise, kişinin sağladığı getirinin kendisine sağladığı fayda ya da belirli bir faydayı sağlamak için gerekli olan getiri miktarı olmaktadır. Ancak, teori bu konuda kesin genellemeler yapılamayacağını belirtmekle beraber; sağlanan faydanın, içinde bulunulan duruma göre değişiklik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

- ii. Portföy Teorisi - Markowitz (1952): Portföy, en az iki çeşit finansal varlık ya da en az iki farklı firmaya ait menkul kıymetten oluşan havuz olarak tanımlanabilir. Riski azaltmak veya üstlenilen riske göre en fazla getiriyi sağlama amacına yönelik portföy teorisinin temelleri, Harry Markowitz tarafından atılmıştır²⁶. Markowitz modeli, yalnızca zamanın iki noktası arasındaki değiş tokuşu göz önüne almakta ve bir kararlar dizisinin optimizasyonunu göz ardı etmektedir.
- iii. Sermaye Yapısı Politikası- Miller & Modigliani (1952): F. Modigliani ve M. Miller, sermaye maliyeti ve sermaye yapısına yönelik olarak optimum yatırım politikasını oluşturmaya çalışmışlardır. Yatırım politikasının veri olduğu, vergilerin ve sözleşme maliyetlerinin göz ardı edildiği varsayımı altında seçilecek olan finansman politikası, firmanın cari değerini etkilemeyecektir²⁷.
- iv. Temettü Politikası: Temettü politikası bir firmanın finans yapısının temel taşını oluşturur. Firmanın değerlemesinin temelleri temettü politikasında yatmaktadır. Eğer temettü veya sermaye kazancı üretiminin maliyeti aynı ve temettü veya sermaye kazancı getirileri arasında fark yoksa temettü ve sermaye kazancı eşit değerdedir²⁸.
- v. Sermaye Varlıkları Fiyatlama Teorisi: William Sharpe (1964) ve John Lintner (1965) tarafından geliştirilen finansal varlıkları fiyatlama teorisi ise, menkul kıymet fiyatlarının belirlenmesinde pozitif bir teori oluşturma amacındadır²⁹. Piyasalar dengede iken getiri ile risk ilişkisini belirleyen en temel ve basit

²⁶ MARKOWITZ, Harry M., "Portfolio Selection", The Journal of Finance, XII, Mart 1952, ss.77-91 ve "Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investment", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1959.

²⁷ MODIGLIANI, Franco; MILLER, H. Merton, "The Cost of Capital, Corporation Finance and Theory of Investment", The American Economic Review, Cilt 48, No 3, Haz 1958, ss.262-297.

²⁸ MODIGLIANI, Franco; MILLER, H. Merton, age., ss.262-297.

²⁹ SHARPE, William F., "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk", The Journal of Finance, Cilt 19, Sayı 3, Eylül 1964, ss.425-442.

teori olan teori, iyi çeşitlendirilmiş herhangi bir sermaye varlığının getirisinin denge durumunda piyasanın riskini ölçen β (beta) katsayısı ile belirlenir. Bu teori de ortalama ve varyansa bağlı olsa da, Markowitz'in modelinde toplam risk alternatif portföy getirilerinin varyansı ile ölçülmesine rağmen, finansal varlıkları fiyatlama teorisi, denge durumunda menkul kıymet fiyatının toplam riske olan katkısı ile belirleneceğini ortaya koymaktadır³⁰.

vi. Etkin Piyasa Teorisi - Fama (1970): Sermaye piyasalarının temel görevi sermayenin dağıtımını sağlamaktır. Genel olarak ideal olanı hisse senedi fiyatlarının mümkün olan tüm bilgileri yansıttığını kabul ederek firmaların yatırım ve üretim kararını vermeleri, yatırımcıların ise fiyatların en firmaların faaliyetini en doğru olarak gösterdiğine inandıkları hisse senedini seçmeleridir. Mümkün olan tüm bilgileri fiyatlara yansıtan piyasa "etkin piyasa" olarak adlandırılır. Etkin piyasa teorisin ilk klâsik tanımlaması Eugene Fama tarafından 1970 yılında yapılmıştır. Bu tanımlamaya göre menkul kıymet fiyatları daima ulaşılır tam bilgileri yansıttığı durumda "etkin bir piyasanın" varlığından söz edilebilir³¹. Etkin piyasa teorisinin temel varsayımı piyasada mevcut tüm bilgiyi kullanmak suretiyle, kâr elde etme olanağının bulunmasıdır. Varlıkların fiyatlarındaki değişiklikler tahmin edilemediğinden fiyatlar rastgele (*random*) olarak belirecektir. Bu nedenle de etkin piyasa teorisi rastgele yürüyüş teorisi (*random walk theory*) ile yakından ilgilidir. Hatta etkin piyasa teorisinin temel dayanağı rastgele yürüyüş modelidir.

Roberts (1967) tarafından Şikago Üniversitesi'nde Hisse Senetlerinin Analizi Semineri'nde sunulan yayınlanmamış bir çalışmada piyasa etkinliği üç kategoride toplanmıştır:

Zayıf Biçim Testleri ve Zayıf Etkin Pazar: Geçmiş getirilere bakılarak gelecekteki getirilerin ne ölçüde tahmin edileceği ile ilgilenir. Geçmişe ait tüm fiyat bilgilerinin mevcut işlem fiyatına yansıtılmış olduğu varsayılmaktadır. Bu bağlamda, tarihi fiyat değişimlerini inceleyerek bir

³⁰ FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R., "The CAPM: Theory and Evidence" The Journal of Economic Perspectives, Cilt 18, No 3, Yaz 2003, ss.25-46.

³¹ FAMA, Eugene F., "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Emprical Work", The Journal of Finance, Cilt 25, No 2, Mayıs 1970, ss.383-417.

varlığın fiyatında oluşabilecek gelişmelerin öngörülebilmesi mümkün olmamalıdır. Dolayısıyla, finansal piyasalarda sıklıkla kullanılan ve geçmişe ait verileri esas alan teknik analiz metodunun zayıf etkin pazar hipotezine göre doğru neticeler vermemesi gerekmektedir.

Yarı Güçlü Biçim Testleri ve Yarı Güçlü Etkin Pazar: Menkul kıymet fiyatlarının kamuyu aydınlatıcı bilgileri ne hızda yansıttığıyla ilgilenir. Hisse senedi fiyatları, halka açıklanan tüm bilgileri yansıtacak şekilde oluşmaktadır. İçeriden bilgi edinenler, ancak kısa dönemli fiyat hareketlerinden faydalanarak ortalama getirinin üzerinde getiri elde edebilirler. Yarı güçlü etkin pazar hipotezinin geçerli olduğu durumlarda teknik analizin yanı sıra, temel analiz de yatırımcının ortalamanın üzerinde getiri elde etmesine imkân tanımaz. Zira temel analize temel teşkil eden tüm bilgilerin ve söz konusu bilgilerin doğru biçimde yorumlanma şeklinin tüm yatırımcılar tarafından aynı anda ve seviyede bilindiği kabul edilir. Zayıf etkin pazar hipotezinin geçerli olduğu ortamlarda kısa dönemde pozisyon değiştirmeyi esas alan yatırım stratejilerinin, uzun dönemli yatırım stratejilerine oranla yüksek ortalama getiri sağlaması mümkün olmayacaktır. Zira bilgi teknolojilerinin gelişmesi ile gün içinde gerçekleşen işlemlere ve fiyat değişimlerine erişim imkânı doğmakta, bu sayede hisse fiyatlarının kamuya ilan edilen bilgiler ile olan ilişkisi incelenebilmektedir³².

Güçlü Biçim Testleri ve Güçlü Etkin Pazar: Piyasa fiyatlarına tam olarak yansıtılmayan herhangi bir özel bilginin olup olmadığıyla ilgilenir. Piyasadaki hisse senetleri fiyatları halka açıklanan ve açıklanmayan tüm bilgileri yansıtmaktadır. Bu hipotezin geçerli olduğu ortamlarda içeriden işlem yapanların (*insider trader*), bu faaliyetleri neticesinde ortalamanın üzerinde getiri elde etmeleri mümkün olmamalıdır. Güçlü Etkin Pazar hipotezini test etmek için, ayrıcalıklı (kamuya açık olmayan) bilgileri elde edebilecek yatırımcı gruplarının belli zaman aralığında elde ettikleri gelirleri incelemek gerekecektir. Hisse senetleri borsada işlem gören şirketlerin yönetici ve büyük ortaklarının sahip oldukları hisseler ve bu kişi veya

³² PATELL, James M.; WOLFSON, Mark A., "The Intraday Speed of Adjustment of Stock Prices to Earnings and Dividend Announcements", Journal of Financial Economics, Cilt 13, Sayı 2, Haziran 1984, ss.223–252.

kuruluşlar tarafından söz konusu hisse senedine yönelik gün içerisinde gerçekleştirilen işlemlere yönelik verileri inceleyerek güçlü etkin pazar hipotezini test etmek mümkün olabilir. Öte yandan, kamuya açıklanan olumlu veya olumsuz bazı haberlerden önce hisse senedi fiyatlarında meydana gelen değişiklikleri inceleyerek, bazı yatırımcıların ayrıcalıklı bilgilere sahip olup olmadığı konusunda çıkarımda bulunmak mümkün olacaktır. Finans kaynaklarında yapılan değişik çalışmalar, içeriden işlem yapanların uzun dönemde, piyasanın ortalama getirisinin üzerinde getiri sağlayabildiklerini göstermektedir³³. Yapılan çalışmalarda, dünya piyasalarındaki en etkin piyasa olarak değerlendirilebilecek ABD menkul kıymetler borsalarının bile güçlü pazar etkinliğine sahip olmadığı görülmektedir.

Ancak, yapılan araştırmalarda çeşitli borsalarda yatırımcıların normalin üzerinde getiri elde ettikleri gözlenmektedir. Çeşitli piyasaların etkinlik düzeyleri farklılık göstermektedir. Piyasaların etkinliğinde borsada işlem gören menkul kıymetlerle ilgili verileri toplayarak analiz edecek profesyonel yatırımcı grubun varlığı önemli olmaktadır. Kurumsal yatırımcıların ağırlıklı olduğu piyasalarda etkinlik düzeyi yükselecektir. Piyasalarda etkinlik arttığı ölçüde piyasalardan beklenen fayda artacak, etkinlikten uzaklaştıkça kaynakların doğru fiyatlarla, doğru alanlara aktarılması zorlaşacaktır. Etkin piyasalar gelişmiş piyasalardır³⁴.

- vii. Opsiyon Fiyatlandırma Teorisi-Black&Scholes (1972), Merton (1972): Opsiyon, belli zaman dilimi içinde, belirli koşullar altında, bir varlığı satın alma veya satma hakkı veren bir işlemdir / sözleşmedir. Opsiyonların fiyatlandırılması, özellikle şirketlerin politika kararlarında başka bir varlığa bağlı olarak değerlendirilebilen varlıkların fiyatlandırılmasında kullanılır. F. Black ve M. Scholes, firmanın öz sermayesi ve borçları için oluşturdukları değerlendirme modelinde, opsiyon fiyatlamasının, borçlu bir firmanın borçları ve öz sermayesi gibi bağlı haklarının değerlemesi için kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

³³ SEYHUN, H. Nejat, "Insiders' Profits, Cost of Trading, and Market Efficiency", Journal of Financial Economics Cilt 16, 1986, ss.189-212.

³⁴ BEKÇİOĞLU, Selim; ADA, Erhan, "Menkul Kıymetler Piyasası Etkin mi?", İstanbul Üniversitesi, Muhasebe Enstitüsü Dergisi, Sayı 41, 1985.

- viii. Temsilcilik Teorisi - Jenson & Meckling (1976): Temsilcilik ilişkisi, bir veya birkaç kişinin (temsil edilen) kendilerinin çıkarları için karar verme yetkisini, bir başka kişiye (temsilci) devretmelerini ifade eder.
- ix. Arbitraj Fiyatlama Modeli – Ross (1976, 1977): Arbitraj Fiyatlama Modeli, (*Arbitrage Pricing Theory – APT*), bir finansal varlık fiyatlama modelidir. APT'nin CAPM'den farkı, CAPM finansal varlık getirisini tamamen pazar portföyünün getirisi ile ilişkilendirirken, APT'nin öngörülleri pazar portföyü ile ilişkili olmak zorunda değildir. Ross, geliştirdiği bu teoride aynı ürünlerin farklı fiyatlarda satılmayacağını, bir başka deyişle aynı riske sahip sermaye varlıkları portföylerinden farklı getiriler beklenmeyeceğini, arbitraj karlarının olamayacağını belirtmiştir³⁵.

1.2.2. Menkul Kıymetler Pazarları – Borsalar

Borsalar konusunda daha detaylı olarak inceleme yaparsak, hisse senedi, bono ve tahviller gibi finansal varlıkların işlem gördüğü piyasalara menkul kıymetler borsaları; döviz alış-verişinin yapıldığı piyasalara döviz borsaları; kâğıt üzerinde mal ticaretinin yapıldığı piyasalara emtia borsaları; altın, gümüş, platin gibi madenlerin işlem gördüğü piyasalara kıymetli maden borsaları denir.

Borsalar, Sermaye Piyasası Kurulları ve benzeri düzenleyiciler tarafından işlem görmesi kabul edilen menkul kıymetlerin (kıymetli evrakların) ve diğer sermaye piyasası araçlarının belirli bir düzen ve güven içinde alım-satımının sağlanması ve ortaya çıkan fiyatların tespit ve ilanına yetkili kurumlardır. Yani, menkul kıymetlerin ticaretinin yapıldığı yerlerdir³⁶. Piyasa kavramı ise, İtalyancadaki "piazza" kelimesinden dilimize yerleşmiştir. Farsça "bazar" kökeninden gelen "pazar" terimi de piyasa anlamına gelir. Piyasa kelimesi ekonomik terminolojimizde organize pazar olarak kullanılmaktadır³⁷.

Finansal varlıklar pazarının iki fonksiyonu vardır: Birincisi, yatırımcılar ve firmalar için en verimli yatırımının hangi fiyattan yapılacağını tespit edilmesidir. Menkul kıymetlerdeki fiyat artışı yatırımcılara, pazarın belli bir ticari faaliyetin olumlu

³⁵ ÖZÇAM, Mustafa, "An Analysis of the Macroeconomic Factors That Determine Stock Returns in Turkey", Sermaye Piyasası Kurulu, Ankara, 1997, s.2.

³⁶ KARSLI, Muharrem, "Sermaye Piyasası, Borsa, Menkul Kıymetler", İrfan Yayıncılık, İstanbul, 1994.

³⁷ MENTEŞ, A. Ertay, "Sermaye Piyasası Tekniği", İnci Basım, Doğu Matbaacılık, Ankara, 1975, s.4.

değerlendirdiğinin sinyalini verir. Bu da, firma sahiplerinin yeni yatırımları veya firma finansmanını daha ucuza yapmalarını sağlayacaktır. Bir başka şekilde açıklamak gerekirse, finansal varlıklar fiyatlandırması, kıt kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını tanımlayan standart arz-talep ekonomik modeline benzer. İkinci fonksiyon ise, bugünkü menkul değerlerin alıcı ve satıcılarını bir araya getirerek yeni menkul kıymetler oluşturmak suretiyle yeni sermaye artırımını yaratmaktır. Piyasayı oluşturanların sayısı, ticari kurallar, bayi katılımı, açık artırma mekanizması, pazar yapılandırma bu ikinci fonksiyonunun etkinliğini belirler.

Reel piyasaları, mal ve hizmet alım-satımının yapıldığı mal ve hizmet piyasaları ile mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılan üretim araçlarının alınıp satıldığı piyasalar oluşturur. Finansal piyasalar ise, fon açığı veren birimlerle fon fazlası veren birimlerin karşılaştığı ve fon transferinin gerçekleştiği piyasalardır³⁸. Para piyasaları ise, kısa ve orta vadeli krediler ile ilgilenir, bu piyasalarda işlemler bankalar ve diğer finansal kuruluşlar vasıtası ile yapılır. Vadesi en çok bir yıla kadar olan fon arz ve talep edenlerin karşı karşıya geldiği piyasaya para piyasası denir³⁹. Sermaye piyasaları adından da anlaşıldığı üzere, sermaye yatırımlarının fonlanması için kullanılırken, para piyasaları kısa süreli fon ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Para ve sermaye piyasaları arasındaki farklar aşağıda Tablo 1.1’de gösterilmektedir.

Piyasada, fon arz eden ve fon talep eden kurumlar genellikle farklı oldukları gibi, özellikle fon arz eden kurumlar da sağladıkları fon türüne göre çeşitlenebilirler⁴⁰. Bu, gelişmiş ülkelerde çok daha belirgin bir durumda olup, bu durum kurumların işlevlerinin belirginliğini, dolayısı ile menkul kıymetler için uygun bir pazar ortamını, piyasa likiditesini ve düzenli fiyat değişimlerini sağlamaktadır. Kurumların sağlıklı ve kuralları olan bir ortamda bir araya gelerek anlaşma sağlamaları ile yatırımlar sağlıklı bir ortamda yapılmış olacak, bunun yanında ülke ekonomisi de bundan faydalanarak ülkenin genel refah seviyesi artacaktır. Bu pozitif döngü sonucu ülkenin refahının artması ile daha sağlıklı yatırımların yapılması sağlanacaktır⁴¹.

³⁸ İMKB; Piyasa Kavramları, Çeşitleri, Özellikleri, İMKB Yayınları, İstanbul, 2003, s.1.

³⁹ BOLAK, Mehmet, “Sermaye Piyasası Menkul Kıymetler ve Portföy Analizi”, 4ncü Baskı, Beta Yayıncılık, İstanbul, 2001, s.8.

⁴⁰ İMKB, “Piyasa Kavramı, Çeşitleri, Özellikleri”, İMKB Yayınları, İstanbul, 2003, s.1.

⁴¹ KÜÇÜKSÖZEN, Cemal, “Sermaye Piyasaları ve Mevzuatı”, SPK Sunumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, 23 Mayıs 2006, İzmir.

Tablo 1.1: Para ve Sermaye Piyasaları Arasındaki Farklar

	Para Piyasası	Sermaye Piyasası
Vade	Bir Yılda Kısa	Bir Yılda Uzun
Fonların Kullanımı	Dönen Varlıkların Finansmanı	Duran Varlıkların Finansmanı
Araçlar	Kambiyo Senetleri ve Mevduat Sertifikaları	Hisse Senedi, Tahvil vb. gibi menkul değerler
Faiz	Düşük	Yüksek

Kaynak: www.spk.gov.tr

İşletmelerin hayatlarını sürdürebilmeleri ve büyüebilmeleri için sermayeye ihtiyaçları vardır. Firmaların sermayeleri ile borçlanma ve öz sermaye yolu ile yapılabilmektedir. Finansal piyasalar firmaların fonksiyonlarını yürütebilmeleri için fon sağlamalarına yardımcı olan piyasalardır⁴².

Uzun vadeli fon karşılansında kullanılacak araçlardan biri hisse senetleridir. Hisse senetlerinde vade yoktur, hisse senedine yatırım yapan yatırımcılar kuruma ortak olarak, kurumun karı ve varlıkları üzerinde hak sahibi olmaktadır. Hisse senedi ihraç eden kurum ise, öz sermaye yoluyla fon sağlanmış olmaktadır. Dereceleri birbirinden farklı olmakla birlikte, yatırımcılar açısından menkul kıymetlerde geleceğe yönelik bir belirsizlik vardır. Hisse senetlerindeki belirsizliği azaltmak için değişik analiz teknikleri geliştirilmiştir. Bu eserde de yeni ve gelişmiş bir teknik olan spektral analiz tekniği incelenecek ve uygulamaları anlatılacaktır. Ancak, spektral analiz tekniğini verimli kullanmak için öncelikle sistemi doğru anlamak, tüm değişkenlerin ilişkilerini doğru tespit etmek gerekir.

1.2.3. Makroekonomik Faktörlerin Menkul Kıymetler Üzerindeki Etkileri

Son yıllarda ekonomi ve finans literatüründe en fazla tartışılan konulardan biri de, hisse senedi fiyatlarının makroekonomik değişkenlerle olan ilişkisidir. 1980 ve 1990'lı yıllarda başta ABD olmak üzere pek çok Avrupa ülkesinde ve Japonya'da hisse senedi fiyatlarında umulmadık bir dalgalanma görülmüştür. Birçok araştırmacı bu dalgalanmaların makroekonomik faktörlerden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

Makroekonomik değişkenler başlıca para arzı, enflasyon, faiz oranı,

⁴² ŞEKER, Ünal S., "Araçları, Kurumlar ve İşleyişi ile Sermaye Piyasası", A.Ü. İ.İ.B.F. Yayınları No:19, Eskişehir, 1997, s.8.

endüstriyel üretim, gayri safi milli hâsıla, dış ticaret dengesi, döviz kuru ve petrol fiyatları olarak değerlendirilebilir.

Makroekonomik faktörlerin hisse senetleri üzerindeki etkileri özellikle volatilité kavramı üzerinde yoğunlaşmıştır. Gelişmiş ve yükselen piyasalarda, hisse senedi piyasası volatilitesi ile bu oynaklığın sebeplerini araştıran ve genelde sebepleri makroekonomik değişkenlere bağlayan çalışmalar yapılmıştır⁴³. Vektör Ardışık Bağlanım (VAR) modeli kullanılarak yapılan pek çok tahminde, hisse senedi piyasası oynaklığı ile bazı makroekonomik değişkenlerin oynaklığı arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur⁴⁴. Bu çalışmaların bir benzeri de, çapraz spektral analiz kullanıldığı başka bir tez çalışması olarak yapılabilir.

Bu noktaya kadar açıklanan konular sistematik risk kavramı ile ilgilidir. Makroekonomik faktörlerin sistematik olmayan risk üzerindeki etkileri ise çok daha karmaşık analizleri gerektirir. Zira sistematik olmayan riskten kaynaklanan volatilité; makroekonomik faktörlerin işletmeye etkilerinden olabileceği gibi, menkul kıymetin ait olduğu işletmenin kendisine özgü faktörlerden de oluşan ve makroekonomik faktörlerden bağımsız olarak da oluşabilir. Bu nedenle bu analizler çok özel analizleri ve yorumları gerektirir.

Volatilité, hisse senetlerinin dolayısıyla da, borsa endeksinin aşağı ve yukarı hareketine neden olur. Bu hareketler periyodik salınımlar da içerebilir ve bu salınımlar spektral analiz tekniği ile belirlenebilir. Bu tez çalışmasında teorisine kısaca değinilecek olan çapraz spektral analiz yöntemi kullanılarak da, makroekonomik değişkenlerle borsa endeksleri arasındaki ilişki, ayrı bir çalışma ile incelenebilir. Ancak, bu faktörler, borsa endeksinin dalgalanmasına neden olduklarından aşağıda özetlenmişlerdir.

- i. Para Arzı ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Para arzındaki değişimler, genel ekonomi üzerindeki dolaysız etkilerinden dolayı, öncelikle, finansal piyasaları etkilemektedir. Para arzındaki artış nedeni ile ortaya çıkan hisse senedi fiyatlarındaki artış, enflasyonu kontrol etmek

⁴³ DİZDARLAR, H. Işın; DERİNDERE, Sinem, “Hisse Senedi Endeksini Etkileyen Faktörler: İMKB 100 Endeksini Etkileyen Makro Ekonomik Göstergeler Üzerine Bir Araştırma”, İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, Yıl 19, Sayı 61, Ekim 2008, ss.113-124.

⁴⁴ KASMAN, S. Kırbaş, “Hisse Senedi Getirilerinin Oynaklığı ile Makroekonomik Değişkenlerin Oynaklığı Arasındaki İlişki”, İMKB Dergisi, Cilt 8, Sayı 32, 2004, ss.1-10.

amacı ile uygulanan kısıtlamalar nedeni ile olumsuz etkilenecektir⁴⁵. Diğer bir deyişle, borçlanma maliyetinde bir azalama, kaldıraç etkisi ile hisse senetlerinin fiyatlarda artışa neden olacaktır⁴⁶.

- ii. Enflasyon ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Enflasyon ile hisse senetleri arasında hem pozitif, hem de pozitif bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar vardır. Fama (1981) hisse senetleri ile enflasyon arasındaki ters yönlü ilişkinin oldukça yanıltıcı olduğunu öne sürmektedir. Ona göre enflasyon, hisse senetleri ve enflasyon arasındaki ilişkiyi belirlemek için oluşturulan modellerde reel faaliyet değişkenlerini ifade eden bir vekildir (vekâlet etkisi)⁴⁷. Gelişmiş ülkelerde bu konu ile ilgili gerçekleştirilen birçok araştırma çelişkili ampirik kanıtlar ortaya koymuştur. Dolayısıyla, enflasyonun hisse senedi fiyatları üzerindeki etkisi tartışmalıdır. Diğer yandan, enflasyondaki artış nominal risksiz faiz oranını arttırarak değerlendirme modelinde indirgeme oranını büyütülmektedir. Eğer nakit girişleri aynı oranda artarsa enflasyonun negatif etkisi ortadan kalkacaktır. Ancak bu nakit girişlerinin kısa vadede görülme olasılığı zayıftır. Dolayısıyla buradan hareketle enflasyon ile hisse senedi fiyatları arasında negatif bir ilişkinin var olduğunu söyleyebiliriz.
- iii. Ekonomik Aktivite ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Literatürde iktisadî faaliyetler ile hisse senedi fiyatları arasında bir ilişkinin varlığı ifade edilmekle birlikte, bu ilişkinin yönüyle ilgili tam bir görüş birliği yoktur. Ancak günümüz piyasalarında genellikle, hisse senedi getirisi gelecekteki reel aktivite düzeyinden pozitif etkilenecektir. Bir ekonomik aktivite göstergesi olan Tüketici Fiyat Endeksi (TFE) ile ilgili yapılan pek çok çalışmada TFE ile hisse senetleri arasında bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bulgular pek çok ülkede TFE ile reel hisse senetlerinin getirisi arasında negatif bir getirinin olduğunu göstermiştir⁴⁸.

⁴⁵ DURUKAN, M. Banu, “İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Makroekonomik Değişkenlerin Hisse Senedi Fiyatlarına Etkisi”, İMKB Dergisi, Cilt 3, Sayı 11, Tem-Ağu-Eyl 1999, ss.19-47.

⁴⁶ VEJZAGIC, Mirza; ZARAFAT, Hashem, “Relationship Between Macroeconomic Variables and Stock Market Index: Co-Integration Evidence from FTSE Bursa Malaysia Hijrah Shariah Index”, Asian Journal of Management Sciences & Education, Cilt 2, No 4, Ekim 2013, ss.94-108.

⁴⁷ YILMAZ, Ömer; GÜNGÖR, Bener; KAYA, Vedat, “Hisse Senetleri ve Makroekonomik Değişkenler Arasındaki Eşbütünleşme ve Nedensellik”, İMKB Dergisi, Yıl: 8, Sayı: 24, 2009, ss.1-16.

⁴⁸ VEJZAGIC, Mirza; ZARAFAT, Hashem, age., ss.94-108.

- iv. Döviz Kuru ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Geleneksel ekonomik modeller döviz kurundaki değişmelerin bilanço kalemlerini etkileyerek şirketlerin kârlılığına ve dolayısı ile sermaye piyasasında fiyat ayarlamalarına neden olacağını savunurlar. Her bir şirketin hisse senetlerindeki bu fiyat dalgalanmaları da piyasa endekslerini etkiler⁴⁹. Şirket kazançlarının önemli ölçüde para değerindeki dalgalanmalardan etkilendiği inancına bağlı olarak, döviz kurları hisse senedi fiyatlarının analizinde sıklıkla kullanılmaktadır⁵⁰. Dünya ticaretinde ve sermaye hareketlerinde önemli düzeydeki artışlar, para değerini, işletme kârlılığının ve hisse senedi fiyatlarının en önemli belirleyicisi haline getirmiştir. Kur değişkeni ile hisse senedi getirisi arasındaki ilişki basit ve anlamlı bir finansal teori üzerine inşa edilmiştir. Ulusal paranın değer kazanması, üretim için gerekli olan ithal hammadde fiyatlarını düşürmektedir. Ulusal paranın değer kazanması ile rezervler artmakta, para arzı artmakta ve faiz oranları düşmektedir. Sermaye maliyetindeki düşüş ve ithal mallarının fiyatındaki düşüş yerel getiriye yükseltmekte yani firmaların gelecekteki nakit akımlarını arttırmaktadır. Dolayısıyla, kur ile hisse senedi getirisi arasında negatif bir ilişki var olmaktadır (Dizdarlar ve Derindere, 2008).

Teorik çalışmalardaki bir tartışma ise, portföy uyumu hipotezidir. Bu teoriye göre, hisse senetlerinde artış olduğu zaman daha fazla yabancı sermayeyi çekeceklerdir. Hisse senetleri fiyatları düşüşte olduğu zaman yabancı sermaye elinde tuttuğu hisse senetlerini satacak, bu hisse senetlerinin daha hızlı bir düşmesine neden olacak bu ise şirketlerin değerinin dolayısıyla ülkenin ekonomik refahının azalmasına neden olacaktır⁵¹.

- v. Faiz Oranı ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Yapılan araştırma ve çalışmalar, faiz oranlarındaki değişimin hisse senedi getirileri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Faiz oranları yalnızca hisse senedi değerini değil, önemli bir alternatif yatırım aracı olan tahvillerin de değerini de değiştirerek hisse senetlerine olan talebi de etkilemektedir.

⁴⁹ VEJZAGIC, Mirza; ZARAFAT, Hashem, age., s.97.

⁵⁰ YILMAZ, Ömer; GÜNGÖR, Bener; KAYA, Vedat, age., ss.1-16.

⁵¹ VEJZAGIC, Mirza; ZARAFAT, Hashem, age., ss.94-108.

Faiz oranlarındaki değişim, hisse senedi fiyatlarını iki şekilde etkileyebilmektedir. Bunlardan ilki, firmaların nakit akımlarını kapitalizme etmekte kullandıkları oranı etkilemesiyle; ikincisi ise, firmaların gelecekteki nakit akım beklentilerini değiştirmesiyle ortaya çıkmaktadır. Merkez bankalarının iskonto ve hedef faiz oranları, enflasyon oranının gelecekteki yönü hakkında bir işaret olarak piyasa iştirakçileri tarafından dikkatle izlenirler⁵². Faiz oranları, enflasyonun ve Merkez Bankası politikaları sonucu değiştirilir ve bu tasarruf ve borçlanma miktarlarının belirlenmesinde hayati önem taşır. Eğer faiz oranları düşük ise, bireyler bankadaki tasarruflarını azaltarak sermaye piyasasında hisse senedi yatırımına yöneleceklerdir⁵³.

Bununla beraber, faiz oranlarındaki değişimin hisse senedi fiyatlarında, refah seviyesinde ve tüketimde zincirleme bir etkiye sahip olduğu tezi bazı kavramsal problemleri de beraberinde getirmektedir. Refahın, faiz oranlarının ve bunlara bağlı olarak da bazı önemli davranışsal etkilerinin birbirleri ile bağlı olması bu problemlerin kaynağı olacaktır⁵⁴. Eğer hisse senetleri fiyatlarındaki düşüş faiz oranlarındaki artıştan kaynaklanıyorsa, mevcut tüketim üzerinde negatif ikâme etkisi ile gelecek dönemlerdeki yüksek faiz ödemelerinden dolayı gelir etkisi vardır. Bu gelir etkisinin işareti bireylerin faiz artırımını öncesi tasarruf mu yoksa harcama niyetinde olmalarına göre değişmektedir⁵⁵. Dolayısıyla, yalnızca tüm değişkenlerin analiz edileceği ve tüm verilerin değerlendirileceği bir hipotez sağlıklı sonuçlar alınmasını sağlar.

Ancak, günümüzde gelişen teknolojinin yardımı ile yapılan bazı teorik ve deneysel çalışmalarda faiz oranlarının uzun vadedeki hisse senedi getirilerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Yine, bazı çalışmalarda, hisse senetlerindeki aşırı değişkenliğin uzun vadeli tahvillerin faiz oranlarındaki aşırı değişkenliğe bağlı olduğunu göstermiştir.

⁵² YILMAZ, Ömer; GÜNGÖR, Bener, KAYA, Vedat, age., ss.1-16.

⁵³ VEJZAGIC, Mirza; ZARAFAT, Hashem, age., ss.94-108.

⁵⁴ BOSWORTH, Barry, "The Stock Market and Economy" Brookings Institution, Brookings Paper on Economic Activity, 2, 1975 ss.257-300.

⁵⁵ TOBIN, James; DOLDE, Walter, "Wealth, Liquidity and Consumption" Consumer Spending and Monetary Policy, Monetary Policy Series No: 5, Federal Reserve Bank of Boston, 1971, ss.99-146.

- vi. Bütçe Açığı ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Bütçe açıklarının faiz oranları üzerinde etkisi olup olmadığını araştırmaya yönelik birçok çalışma yapılmış olup halen bir sonuca ulaşılamamıştır. Ancak genel kanı, yüksek bütçe açıkları, yüksek faiz oranlarına yol açacağı için hisse senetleri fiyatlarını düşürecektir⁵⁶.
- vii. Dış Ticaret Dengesi ile Menkul Kıymetler Arasındaki İlişki: Dış ticaret dengesi ile hisse senedi fiyatları arasındaki ilişki, literatürde çok fazla araştırılmamasına rağmen gerek ekonominin dışa açıklığı gerekse çalışmada kullanılan diğer değişkenlerle dolaylı ilişkisi nedeniyle çalışmaya dâhil edilmiştir. Kwon ve Shin (1999) Kore ekonomisi için gerçekleştirdikleri çalışmalarında özellikle dış ticaret dengesi ve döviz kuru arasındaki karşılıklı nedensellik ilişkisine vurguda bulunmuşlardır.

1.2.4. Menkul Kıymetlerdeki Dalgalanmalar

Son yıllarda, volatilité olgusu finansal piyasalarda çok sık karşılaşılan kavramlardan biri haline gelmiştir. Tanım olarak volatilité, herhangi bir değişkenin, belirli bir ortalama değere göre çok yüksek artış veya azalışlar göstermesi anlamına gelmektedir. Volatil terimi ise, genellikle bir hisse senedi, bono veya herhangi bir finansal varlığın fiyatında meydana gelen dalgalanmaların büyüklüğünü ve bu dalgalanmaların gerçekleşme sıklığını açıklamak amacıyla kullanılmaktadır (Güneş ve Saltoğlu, 1998: 14).

Bir değişken zaman içinde ne kadar dalgalanırsa, değişkenin volatilitesi o kadar çok olur. Volatilité, belirsizlik ve riskle bir arada ortaya çıkar. Genel olarak, terim risk ile eşdeğer olarak kabul edilir. Dolayısı ile hisse senedi volatilitesi, hisse senetlerinin gerektiği gibi fiyatlandırılmadığı ve sermaye piyasalarının olması gerektiği kadar fonksiyonel olmamasının bir işareti olarak düşünülebilir⁵⁷.

Spekülasyonlar da volatilitenin bir sebebi olabilmektedir. Volatilité kavramını inceleyen John Stuart Mill (1871) spekülâtörlerin fiyat dalgalanmalarına sebep olan faaliyetleri sonucu oluşan ortak görüşe aykırı bir davranış olarak tanımlamış ve şu ifadeyi kullanmıştır:

⁵⁶ TEKELİ, Recep, "Bütçe Açıklarının Hisse Senedi Fiyat Hareketlerine Etkisi: Türkiye Örneği", Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler MYO Dergisi, Cilt 16, Sayı 2, 2013, ss.215-216.

⁵⁷ DALY, K. James, "Financial Volatility and Real Economic Activity", Aldershot, Ashgate, 1999, ss.133-140.

“Bu araçlar (spekülatörler) doğal olarak ucuz iken satın alırlar, onları saklarlar ve fiyatlar alışılmadık biçimde yükseldiğinde tekrar pazara getirirler; bu işlemin amacı, fiyatları eşitlemek veya en azından eşitsizliğin etkisini azaltmaktır... Spekülatörlerin böylece ekonomik toplumda faydalı bir görevleri vardır; ayrıca (ortak görüşün aksine) sınıfın en yararlı bölümü mevsimsel iniş-çıkışlardan etkilenen emtiaya yatırım yapan spekülatörleridir.”⁵⁸

Bununla beraber, etkin piyasalar teorisi, açık ve net bilgiyle, fiyat volatilitesi arasında güçlü bir ilişki olduğunu savunulmaktadır. Etkin piyasada fiyatlar pazar gelen yeni bilgiye hızlı ve tarafsız tepki verirler. Eğer etkin bir piyasada bilgi akışı hızlanırsa fiyatların tepkisi de artar ve fiyatlar daha oynak (*volatile*) hale gelir.

Finansal piyasalar, likidite ihtiyacı bulunan kişi veya kurumlarla, likidite fazlası olan kişi veya kurumların karşılaştığı piyasalardır. Finansal piyasalardan biri olan hisse senetleri piyasasında, ekonomik, siyasi ve sosyal bilgi ve konular bağlamındaki beklentiler fiyatlarda farklı büyüklüklerde volatiliteye neden olabilmektedir. Özellikle, finansal krizler sırasında ortaya çıkan yüksek volatilitenin nedeniyle, yatırımcılardan bazıları önemli kazançlar elde ederken, bazıları ise önemli kayıplar vermektedirler. Çünkü, volatilitenin yüksek olması üstlenilmesi gereken riskin de yüksek olmasına neden olur (Kanalıcı-Akay, Nargeleçekenler, 2006).

Aslında, dalgalanmalar tabiat kanununun bir gerekliliğidir. Mevsimlerin oluşumu, yağmurun yağması, kalp atışı modelleri, sıvıların akışı, nüfus artışı gibi olaylar tabiatın dinamik yapısı içinde fraktal bir fonksiyona sahiptir. Eğer, volatilitenin dalgalanmaları döngüsel bileşenler içeriyorsa, spektral analiz tekniği ile bu döngüler ortaya çıkarılabilir.

Volatilitenin sebepleri ise çok farklıdır. Bu konuda pek çok bilim insanı farklı teorileri test etmişler ve zaman ve yere bağlı değişkenliğin doğal sonucu olarak farklı sonuçlara ulaşmışlardır. Öncelikle, bir önceki bölümde açıklanan tüm makroekonomik etkenler menkul kıymetler üzerinde dalgalanmaya neden olacaktır. Ancak, menkul kıymetlerdeki dalgalanmaların nedenleri çok daha fazladır. Burada açıklanan değerler sadece makroekonomik veriler olmakla birlikte, mundoekonomik ve mikroekonomik değişkenler de sermaye piyasalarının yönünü etkileyecektir*. Ancak, incelemeler sırasında mutlaka sosyal, kültürel, politik, coğrafik ve psikolojik etkenler de

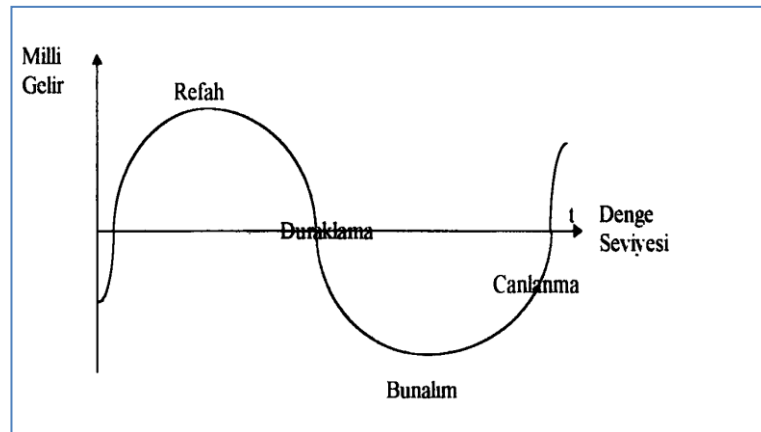
⁵⁸ MILL, John Stuart, “Principles of Political Economy”, Cilt 4, John William Parker, Londra, 1871, s.30.

* Mundoekonomik: Küresel ekonomik olaylar.

matematiksel model haline getirilerek analiz edilmelidir. Endüstrinin performansı ekonomik ve politik değişiklikler ana etkenler arasında sıralanırken günlük haberler bile dalgalanmalara sebep olabilirler⁵⁹.

Shiller'e göre ise aşırı volatilité, yatırımcının psikolojik hareketleri ile alakalıdır ve önemli fiyat değişiklikleri, gelecekteki olaylarla ilgili düşünce ve inanışlarla açıklanabilir⁶⁰.

Hisse senedi volatilitésinin genel bir ölçüsünün, kazançların standart sapması olduğu görülmektedir. Günlük, aylık veya daha uzun süreli kazançların standart tahminleri, volatilité değerlendirmesini karakterize etmede faydalı bir ölçü olarak hizmet eder. Volatilité modellemesinde zaman serileri istatistikleri ise, en iyi volatilité tahminini bulmak için kullanılabilir. Trend ve yıllık bileşenler ise, ekonomik zaman serilerinin sıkça rastlanan en önemli özellikleridir. Bunlardan arındırılmış uzun dönem gözlemlerini içeren bir seri ele alındığında düzensiz dalgalanmalar görülmektedir. Bir kısım araştırmacılara göre düzensiz bu dalgalar, periyodik olarak daha düzenli dalgaların birbirleri üzerine binmelerinden dolayı oluşmaktadır. Konjonktür dalgalanmalarının evreleri, refah-gelişme, duraklama-gerileme, bunalım-duraklama ve canlanma olarak dört aşamada incelenir.



Şekil 1.4: Konjonktür Dalgaları

⁵⁹ GOONATILAKE, Rohitha; HERATH, Susantha, "The Volatility of the Stock Market and News", International Research Journal of Finance and Economics, Sayı 11, 2007, ss. 53-65.

⁶⁰ BARRET, David, "Stock Market Volatility – A Psychological Phenomenon?", EMP/Stock Market Volatility, 2005. https://www.tcd.ie/Economics/assets/pdf/SER/1996/David_Barrett.html

Şekil 1.4’de görülen konjonktür dalgalanmalar ile ilgili birtakım özellik ve varsayımlar mevcuttur⁶¹. Bu özellik ve varsayımlar şöyle sıralanabilir:

- Bunalım devrelerinde talebi aşan bir üretim vardır.
- Bunalımlar; dış ticaret, dış borçlanma, dış yatırımlar ve ülkeler arası sosyal, kültürel ve psikolojik ilişkiler nedeniyle uluslararası düzeyde yaygınlaşırlar.
- Bunalımlar zaman içerisinde düzenlilik gösterirler.
- Dalgalanmaların, liberal-kapitalist ekonomilerde sistemin iç çelişkileri nedeniyle ortaya çıktığı konusunda yaygın bir kanı vardır.
- Tarım ürünlerine dayanan ekonomilerde düzenli devresel dalgalanmalarla karşılaşılmemiştir. Bunalımlar, sanayileşmiş ülkelerde görülürler.

Ekonomiyle ilgili kaynaklarda pek çok düzenli dalgalanmadan söz edilmektedir. Bunlardan, Rus ekonomist N.D. Kondratieff (1960), ekonomik olaylarda 40-60 yıl periyoda sahip uzun dönem dalgaların bulunduğunu ileri sürmüştür. 1960’lı yıllarda bu dalgaların varlığı üzerinde çalışılmışsa da, yeterince destekleyici bulgular elde edilmemiştir. Kuznets’in Uzun Dönem Dalgası teoremine göre ise, milli gelir, göç ve nüfus değişkenleri üzerinde yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre ortalaması 20 yıl olan bir dalganın varlığı mümkün görülmektedir.

Literatürdeki diğer dalgalanma şekli ise İnşaat Sektörü Dalgasıdır. Değişik ülkelerdeki inşaat sektöründe 15-20 yıllık periyodu olan bir dalga olduğu konusunda araştırmacılar görüş birliğindedirler. Bu dalganın Kuznets’in Uzun Dönem Dalgası ile ilişkisi olduğu konusunda incelemeler yapılmıştır.

Hansen ve Shumpeter ekonomik dalgalanmaları iki ve üç grupta toplamışlardır. Hansen dalgalanmaları stoklardaki değişmelerle açıklarken, Shumpeter teknolojidaki değişmeler ile açıklamaya çalışmıştır. Ancak, her iki ekonomistin teorilerinde dalgalanmalar 6-11 yıllık temel dalgalanmalar ve 2-4 yıllık ara dalgalanmalar şeklinde ortak özellik taşımaktadır.

Ticarî Dalgalar (*Business Cycles*), bir ülkedeki toplam ekonomiyi etkileyen dalgalanmalardır. Düzenli devirlere (*period*) sahip olmayan ancak tekrarlanan bu dalgalanmalar ekonomi bilminde dört faz olarak incelenmektedir. Bu dalgalanmaların süresi bir yıldan fazla ve maksimum 11-12 yıl olduğu varsayılmaktadır.

⁶¹ ÜNAY, Cafer, 4. Basım, “Makro Ekonomi”, Akademi Kitapevi Yayınları, Bursa, 1984, s.102.

Ruth Mack ise, özellikle fiyatlar, siparişler ve stoklarla süresinin ticari dalgalanmalardan daha kısa olan en fazla 24 aylık dalgaların varlığını ileri sürmüştür. Ticari dalgalanmaların büyüme dönemlerinde gözükken kesilmelerin, bu dalgaların bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.

Süresi bir yıl olan dalgalanmalara ise, Mevsimlik Hareketler adı verilmektedir. İncelenen zaman serisinin konusuna göre bu dalgalanmaların tepe ve dip noktaları farklı aylarda gözlenmektedir. Bu dalgalanmaların en önemli sebebi mevsimler olduğundan mevsimlik hareketler olarak adlandırılmaktadır.

Son yıllarda finansal piyasaların önemi artmış ve bu piyasalarda meydana gelen değişiklikler daha yakından izlenir hale gelmiştir. Bu nedenle finansal değişkenlerin volatilitésinin neden belirli düzeylerin üzerine çıktığı akademik çevreler için önemli bir araştırma konusu olmuştur. Finansal piyasa volatilitésini özellikle son yıllarda yatırım kararlarında önemli rol oynamaktadır. Hisse senedi fiyat volatilitésinin yüksek olması, söz konusu hisse senedinin fiyatının büyük miktarda yükselebileceği gibi düşebileceğini de göstermektedir. Burada risk, yüksek kazanç beklentisi içinde olan yatırımcının büyük zarara girebileceğini gibi ekonomiye de büyük zararlar verecektir. Çünkü bu tür volatilité, finansal sistemlerin işleyişini bozabilir ve ekonomik performansı kötü şekilde etkileyebilir⁶².

Dünyada finansal piyasa volatilitésinin 1980'li yıllar boyunca büyük ölçüde arttığı gözlenmektedir. Ekim 1987' de hisse senedi fiyatlarındaki çöküş büyük dikkat çekerken, birçok yatırımcı ve finansal piyasa analizcisi, döviz kuru volatilitésinin de hisse senedi volatilitésine kadar yükseldiğini düşünmektedirler. Bunun en önemli sebeplerinden biri finansal liberalleşmenin tüm dünyada artmasıdır. Finansal liberalleşme ile birlikte finansal piyasaların ekonomi içindeki ağırlıkları ve işlevleri de artmıştır. Finansal piyasa volatilitésini artarsa, yatırımcılar ve politika yapıcılar için önemli bir sonuç ortaya çıkacaktır. Yatırımcılar, daha yüksek riskle yüksek volatilitenin birbiriyle aynı anlama geldiğini düşünüp, artan volatilitéye bakarak yatırım kararlarını değiştirebilirler. Politika yapıcılar ise, finansal piyasa volatilitésinin reel ekonomiye yayılacağını ve ekonomik performansa zarar vereceğini düşünebilirler.

Tüm bunların yanında, son on yıldaki küresel ekonomik bütünleşme, dalgalanmaların bir ülkeden diğer ülkeye çok hızlı bir şekilde yayılmasına neden

⁶² BECKETTI, Sean; SELON, Gordon H., "Has Financial Market Volatility Increased?", Federal Reserve Bank of Kansas City, Economic Review, Cilt 2, 1989, ss.3-16.

olmaktadır. Ülkelerin dünya ekonomisindeki farklı etkileri bu dalgalanmaların sebepleri ve sonuçlarını da etkilemektedir. 1990'dan evvel ekonomik gelişmeler genellikle ABD, Japonya ve Avrupa Birliği ülkelerinin egemenliğinde ve buna bağlı politik koordinasyon ise OECD, IMF ve AB tarafından yürütülmeyken, Çin'in dünya pazarına girişi ve hızla büyüyen ekonomisi son on yılda küresel ekonomik dengelerin yeniden kurulmasını sağlamıştır. 1980 öncesinde bir tarım ülkesi olan Çin'in son on yılda diğer ülkelerle yapmış olduğu ticaret, yatırım ve finansal bağlantılar sayesinde önemli bir ekonomik faktör olarak dünya ekonomisindeki yerini almasını sağlamıştır. Ülkenin yüksek ticaret hacmi, doğrudan yabancı yatırımlarla desteklenmiştir⁶³. Çin gibi öncelikle nüfusunun fazlalığına dayanan büyük bir ekonominin dünya ile ticareti, dünya ekonomik faaliyetlerinin yeniden yapılanmasına neden olmuştur. Dolayısıyla da, eski küresel oyuncular ABD, Japonya ve AB'nin ekonomik konjonktürdeki etkileri azalmıştır. Bu durum, belirli bölgedeki ülkelerin talep şoklarına daha savunmasız kalmalarına neden olmuştur⁶⁴. Konjonktür ile ilgili literatür çalışmaları ticaret ve yabancı yatırım konusunu vurgulamaktadırlar. Dolayısıyla, Çin'in büyük bir ticari ekonomi olarak doğusu, Çin ile iş yapan ortak ülkelerin konjonktürlerini de etkilemiştir. Burada dikkat çekilebilecek bir nokta; Çin ekonomisindeki dalgalanmalar farklı bir desen takip etse de, Çin'in genelde ekonomik krizlerden daha büyümüş ve güçlenmiş bir ekonomik yapıyla çıkmasıdır.

Hisse senetleri açısından ise, bilimsel olarak doğru değerlendirme yapabilmek için, toplanan verilerin tüm hisse senedi hareketlerini anlatabilecek özellikte olması gereklidir. İstatistik biliminin yardımı ile yapılan bu analizlerde hangi tekniği kullanılırsa kullanılsın, temel veriler zaman serileri şeklinde oluşan olaylardan elde edilebilirler. Yapılacak analizlerde hem nitel hem de nicel yöntemler kullanılabilir. Nitel yöntemler daha çok tecrübeye, kararlara, bilirkişilerin görüşlerine ve düşüncelerine dayanmaktadır. Nicel yöntemler ise, verilerin yapısını açıklayabilen modellere dayanmaktadır.

Etkin pazar hipotezi, geçerliliğinin ortaya konduğu 1970'li yıllardan bu yana sorgulana gelmiş, kuramın ana önermelerine aykırı pazar davranışları gözlemlenmiştir.

⁶³ EICHENGREEN, Barry; TONG, Hui, "Is China's FDI Coming at the Expense of Other Countries?", NBER Working paper No.11335, 2005.

⁶⁴ SOMMER, Martin; SPATAFORA, Nikola; ESPIRITU, Angela; STACK, Allen, "The Changing Dynamics of the Global Business Cycle", World Economic Outlook, Bölüm 5, IMF, Washington, 2005, ss.67-94.

Pazar anomalileri olarak adlandırılan bu aykırı davranışlar piyasa değişkenlerine bağlı anomaliler ve zamana dayalı anomaliler olarak iki ana grupta toplanmış ve bu iki grubun altında bugüne kadar kanıtlanmış 180 adet anomali tespit edilmiştir. Zamana bağlı anomalilerin en önemlileri Ocak anomalisi, hafta sonu anomalisi ve tatil anomalisidir. Bu tür anomaliler, döngüsel hareketlerin tespit edilmesini zorlaştırabilir, dolayısıyla spektral analiz tekniği kullanılırken bu anomalilere dikkat edilmelidir.

Bu nedenlerden dolayı, son yıllarda finansla ilgilenen ekonomistler geleneksel finans modellerinin piyasalarda olup biteni açıklamakta yetersiz kaldığını düşünerek modellerini diğer sosyal bilimlerdeki, özellikle bilişsel psikolojisi alanındaki çalışmalardan elde edilen bulgularla destekleyerek geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmalara genel olarak “davranışçı finans” denilmektedir⁶⁵. Yeni bir yaklaşım olan davranışçı finansa göre yatırımcılar düzenli olarak irrasyonel kararlar almaktadırlar. Yeni bilgi karşısında olasılıkların yenilenmesinde istatistiksel Bayes kuralını ihlal ederek, yatırımcıların irrasyonel davranış göstermesi De Bont ve Thaler (1987) tarafından aşırı tepki hipoteziyle açıklanmaktadır⁶⁶. Shiller’e göre de piyasalardaki aşırı işlem hacmi ve volatilité gibi anomaliler davranışçı finans kapsamında yer alan aşırı tepki hipoteziyle açıklanabilmektedir⁶⁷. Aslında, doğanın kuralı olan döngüsel hareketler, doğanın bir parçası olan insanın davranışlarını da etkilemekte ve insan davranışları döngüsel bir hal alabilmektedir. Dolayısıyla, bu değişimler, davranışçı finans anlayışı kapsamında menkul kıymetleri de etkileyebilmektedir. Burada yola çıkarak, insanların davranışları ile hisse senetlerinin hareketlerini inceleyen ayrı bir spektral analiz çalışması yapılabilir.

⁶⁵ GAYĞUSUZ, Filiz, “Hisse Senedi Piyasalarında İşlem Hacmi – Volatilité İlişkisi ve İMKB’ye Ait Bir Uygulama”, Çukurova Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 2006.

⁶⁶ DE BONDT, Werner; THALER, Richard, “Further Evidence on Investor Overreaction and Stock Market Seasonality”, Journal of Finance, Cilt 42, 1987, ss.557-581.

⁶⁷ SHILLER, Robert J., “From Efficient Market Theory to Behavioral Finance”, The Journal of Economic Perspective, Cilt 17, No: 1, Kış 2003, ss.83-104.

1.3. MENKUL KIYMETLER VERİLERİNİN ANALİZİ

Yatırım, maddi çıkar (kâr, kazanç, vb.) sağlamak amacıyla önceden planlanarak yapılan bir tür harcama olarak tanımlanabilir. Yatırım bir kerede yapılabileceği gibi, değişik zamanlara da yayılabilir. Aynı durum yatırım getirisinin tahsil edilmesinde de geçerlidir. Yatırım, sahip olunan paranın değerini kaybetmesi tehlikesine karşı korumak için hazır sermaye ile yapılabileceği gibi, ödünç para ile yaptıktan sonra borcu faizi ile birlikte geri ödedikten sonra kâr etmeye çalışmak şeklinde de yapılabilir.

Gelişen teknolojik imkânlar, iletişim kanallarının artması, teknolojinin finansal piyasalarda verimli kullanılması ile yatırım imkanları bugünün dünyasında çok yaygın hale gelmiştir. Teknolojik gelişmeler bilgiye ulaşmayı kolaylaştırdığı için özellikle düşük işlem maliyetleri yeni bilgilerin fiyatlara yansımaları gerçek piyasalara göre hızlandırmaktadır. Özellikle, günümüzde bilgisayar ve bilgisayar destekli bilgi sistemleri, günlük hayatın bir parçası haline gelmiştir. Eskiden saatler süren bir işin saniyeye sığdırılması, yeni teknolojiler sayesinde mümkün olmaktadır. Benzer şekilde bilgisayar destekli bilgi sistemleri, yönetim kararlarında karşılaşılan problemlerin çözümünü kolaylaştırmakta, zamanı kısaltmaktadır⁶⁸. Bunun yanında, internet kullanımının artışı, elektronik para/sermaye hareket imkânını artırmış, dolayısıyla hem yatırım fırsatları ve yöntemleri çeşitlendirilmiş hem de finansal yatırım oyun alanını tüm dünya geneline genişlemiştir. Yatırımcılar, iletişim teknolojileri ile doğru bilgiye hızlı bir şekilde ulaşmakta ve bir ülkedeki finansal yatırım getirileri azaldığında, hemen daha yüksek getiri seçeneği bulunan farklı bir ülke ya da piyasaya kolayca yönelmektedir.

Yatırımcılar, hisse senetlerini ve hisse senedi fiyatlarını etkileyebilecek değişkenleri analiz edip gerekli hesaplamaları yaparak, hisse senetlerini alma ya da satma kararı verirler. Bir başka deyişle, hisse senedi piyasasında arz ve talep oluştururlar. Ancak, piyasada arzı ve talebi oluşturan kesimlerin hepsinin aynı detaylı ve eksiksiz hesapları yaptığı söylenemez. Büyük bir kitle bilmediğinden, ya da yeterli zamanı olmadığından bu hesapları yapamaz. Bu nedenle, hisse senedi piyasasında alım-satım yapanların tamamının tam anlamıyla bilinçli ve rasyonel bir şekilde hareket

⁶⁸ ÇETİNYOKUŞ, Tahsin; GÖKÇEN, Hadi, "Borsada Göstergelerle Teknik Analiz için bir Karar Destek Sistemi", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No:1, 2002, ss.43-58.

ettikleri söylenemez. Piyasada menkul kıymetlerin fiyatının oluşumunu sağlayan arz ve talep, hesaplanamayan bazı faktörlerden de etkilenir. Örneğin, psikolojik faktörler ya da spekülasyon hareketleri arz ve talebi beklenmeyen bir şekilde etkiler. Piyasanın etkinlik düzeyi düştükçe bu tür etkenlerin etkisi de artar.

Yatırım kararı verme amaçlı kullanılan temel yöntemler; temel analiz, teknik analizdir. Spektral analiz de bir tür gelişmiş analiz tekniği olarak yerini almaktadır. Spektral analizi detaylı olarak incelemeye evvel bu teknikleri kısaca gözden geçirmek faydalı olabilir.

Finansal piyasalarda her iki analizi de iyi yapabilmek için bazı borsa terimlerini hatırlamakta fayda olacaktır. Bunlar sırasıyla;

İşlem Seansı: Bir menkul kıymetin, ilgili olduğu pazarda, işlemlerin bağladığı an ile bitirildiği an arasında geçen süre “seans” olarak adlandırılır. BİST’de işlem gören menkul kıymetler her gün belirli saatler arasında alınıp satılmaktadır. Bu işlem süresine borsa seansı adı verilmektedir. Aynı pazarda işlem gören tüm menkul kıymetlerin seansı aynı anda başlar ve biter.

İşlem Miktarı: Bir piyasada, bir seansta ya da belli bir dönemde alınıp satılan menkul kıymet adedidir.

İşlem Hacmi: İşlemler sırasında hisse senedinde gerçekleşen her sözleşmedeki hisse senedi miktarı ile işlem fiyatlarının çarpılması sonucu bulunan miktardır. Uluslararası borsa karşılaştırmalarında işlem hacmi önemli bir veri ve başarı göstergesi olarak kabul edilir.

İşlem Birimi (lot): Piyasada işlemleri gerçekleştirirken her bir emrin alabileceği en az miktar ve katlarını ifade eder. BİST’de işlem birimi bir lottur.

Ağırlıklı Ortalama Fiyat: Bir sonraki seansta uygulanacak temel (*base*) fiyatların hesaplanmasına teşkil eden, hisse senedinin miktar ağırlıklı ve küsuratsız fiyatıdır. Hesaplama fiyatı tescil eden normal emirler dikkate alınır, özel emirler dikkate alınmaz.

$$A. O. F. = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i F_i)}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{\text{İşlem Hacmi}}{\text{İşlem Miktarı}} \quad (1.3)$$

M_i: Gerçekleşen emrin içerdiği hisse senedi miktarı

F_i: Gerçekleşen emrin satış fiyatı

Fiyat Adımı: Hisse senedi fiyatı için bir defada gerçekleşebilecek en küçük fiyat değişimidir. Hisse senetlerinin fiyat adımları temel (*base*) fiyatlara göre belirlenir. Emir girilirken bu fiyat adımlarına uymak zorunludur.

Temel (*Base*) Fiyat: Bir hisse senedinin seans içinde işlem görebileceği en üs ve en alt fiyat limitlerinin ve fiyat adımlarının belirlenmesine teşkil eden fiyattır. Bu fiyat, menkul kıymetin en son işlem gördüğü seanstaki ağırlıklı ortalama fiyatının en yakın fiyat adımına yuvarlanması ile elde edilir.

Kapanış Fiyatı: Bir hisse senedinin seansta gerçekleşen en son işlemin fiyatına verilen isimdir. Borsalar gün sonunda çıkardıkları bültenlerde işlem görmekte olan her hisse için bu fiyatı diğer bilgilerle birlikte kamuoyuna duyururlar.

Endeks: Endeks, bir veya daha fazla değişkenin hareketlerinden ibaret olan oransal değişimi ölçmeye yarayan bir göstergedir. İngilizce’de “indeks” olarak okunan bu sözcük, dilimize Fransızca “endeks” sözcüğünden geçmiştir. Belirli bir istatistiksel olaya ait değerlerin, zaman ve mekân içerisinde gösterdiği oransal değişimlerin ölçüsüne endeks sayısı ya da kısaca endeks denilmektedir. İndekslerin temel amacının, ele alınan serideki değerlerden birini temel kabul edip, diğerlerini bu temel değere göre değişimlerinin oranını bulmaktır. Borsa İstanbul, borsa tanıtım broşüründe endeksi, “Birçok veriyi dikkate alıp, hızlı bir şekilde sonuca ulaşılmasını sağlayan rakam” olarak tanımlamıştır. Bir başka açıdan yapılan endeks tanımı şöyledir: İstatistikte bir gösterge olarak kullanılan endeks; bir veya birkaç değişkenin zaman, mekân veya diğer özelliklerine göre gösterdiği değişimlerin ölçüsüdür. Endeksler, zaman içinde bir süreklilik, dolayısıyla karşılaştırılabilir olanağı sağlarlar. Böylece, endekse konu olan değişken veya değişkenlerin yönü, değişimi ve gidişi belirlenebilir. Bunun için endeksin istenen olayı temsil etmesi gereklidir. Gösterge olarak da adlandırılan endeksler, aynı veya farklı zaman dilimi içindeki iki veya daha fazla değişkeni karşılaştırma olanağı sağlarlar, geleceği tahmin aracı olarak da kullanılmaktadır. İktisat, işletme ve sosyal olaylardaki konular arasında bir ilişki olup olmadığı hakkında fikir de verebilir. Alternatif yatırım araçlarının getirilerinin ölçülmesinde ve karşılaştırılmasında da yatırımcılar endekslerden yararlı bilgiler sağlayabilmektedirler. Hisse senedi piyasasının genel bir göstergesi olan hisse senedi endeksleri, endeks kapsamındaki hisse senetlerinin fiyatları baz alınarak “piyasa performansı” hakkında genel bir bilgi verir. Hisse senetleri piyasasında endeksler, çok sayıda hisse senedinin fiyatını (ya da

getirisini) bir araya toplayarak bütün bu değişkenlerdeki değişmeyi bir tek rakamla ifade ederler. Böyle bir endeks olmaksızın hisse senetleri piyasasının hangi yönde ve ne kadar hareket ettiğini belirlemek mümkün değildir. Hisse senedi piyasasının genel bir göstergesi olan hisse senetleri fiyat endeksleri, endeks kapsamında hisse senetlerinin baz alınarak piyasa performansının değerlendirilmesinde, objektif ve sağlıklı bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Hisse senedi fiyatlardaki değişmeleri ölçen endeksler genel olarak iki çeşittir. Bir kısmı, endeks kapsamındaki hisse senetlerinin nispi önemini dikkate almadan, sadece bu konudaki genel fiyat düzeyini, bütün hisse senedi fiyatlarına eşit ağırlık vererek ve aritmetik veya geometrik ortalama kullanarak hesaplayan basit endekslerdir. Diğer kısmı ise, hisse senedi fiyatlarının toplam piyasa değerleri ile ağırlıklandırıldıkları, çok sayıda hisse senedini kapsayan karmaşık endekslerdir. Hisse senedi endeksleri, genellikle piyasanın anlık durumunu yansıtır. Dünyada 1884 yılından beri kullanılmakta olan hisse senedi endeksleri (*stock indexes and averages*) genellikle üç ayrı şekilde hesaplanmaktadır: (i) Aritmetik ortalama formülü, (ii) Geometrik ortalama formülü ve (iii) Şirketlerin piyasa değerlerinin kullanıldığı formüllerle.

Fiyat endeksleri, endeksin hesaplanmasında ve sürekliliğinin sağlanmasında ödenen temettüyü dikkate almayan endekslerdir. Bu tür endekslerde sadece hisse senedinin değer kazanmasından doğan kazanç endekse yansımaktadır. Getiri endeksleri, endeksin hesaplanmasında ödenen temettüyü de dikkate alan, sürekliliğinin sağlanmasında ödenen temettülere göre de düzeltme yapılan endekslerdir. Bu tür endekslerde, hisse senedinin değer kazanmasından doğan kazancın yanında temettüden dolayı elde edilen kazanç da endekse yansımaktadır.

Endeksin hesaplama yöntemi ise, Eşitlik 1.4'teki formül ile yapılabilir. Endekslerin hesaplanmasında tescil edilmiş en son fiyatlar kullanılır. Endeksler, kapsamlarında bulunan hisse senetlerinin fiili dolaşımdaki paylarının piyasa değerleri ile ağırlıklı olarak hesaplanır. Endekslerin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır:

$$E(t) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(t) \times T_i(t) \times S_i(t)}{D(t)} \quad (1.4)$$

$E(t)$ = Endeksin t zamandaki değeri,

n = Endekse dahil olan hisse (şirket) sayısı,

$P_i(t)$ = “ i ” nci hisse senedinin t zamandaki fiyatı,

$T_i(t)$ = “i” nci hisse senedinin t zamandaki toplam sayısı,

$S_i(t)$ = “i” nci hisse senedinin t zamandaki fiili dolaşımdaki pay oranı,

$D(t)$ = Endeksin t zamandaki bölen değeri göstermektedir.

1.3.1. Temel Analiz Araçları ve Yöntemleri

Temel analiz, hisse senedi değerini etkileyebilecek tüm bilgilerin toplanması, analiz edilmesi, yorumlanması, böylece şirketin gelecekteki durumunun öngörülerek hisse senedinin gerçek değerinin tahmin edilmesidir. Hisse senedinin değerini etkileyebilecek olan tüm makro ekonomik değişkenler, sektörün durumu, yapısı ve sorunları, sektördeki güncel gelişmeler, rekabet şartları, şirketin finansal yapısı, verimlilik, kârlılık, yönetim kalitesi ve buna benzer tüm değişkenler bütüncül altına alınır. Bu değişkenlerin şirketin geleceğinde hangi sonuçları vereceği araştırılarak, hisse senedinin gerçek değerine ulaşılmaya çalışılır.

Temel analizin başlangıç noktası, menkul kıymetlerin “gerçek” (içsel) değerlerinin, yatırımcının menkul kıymet yatırımından beklediği tüm nakit akışlarının bugüne indirgenmiş toplam değerine eşit olması gerektiği fikridir. Hisse senedinin gerçek değeri hesaplandıktan sonra bu değer, hisse senedinin piyasa fiyatıyla karşılaştırılarak yatırım kararları alınmaktadır. Temel analiz, değerlemeye tabi tutulan şirketin gerçek değeri cari durumundaki ve gelecekteki ekonomik şartlar dikkate alınarak yapılan değer tespitine dayanmaktadır⁶⁹.

Hisse senedi yatırımlarının performansını etkileyen ekonomik, sektörel ve ortaklıkla ilgili unsurları dikkate alarak, hisse senedinin gerçek değerini bulmaya ve bulunan gerçek değeri piyasa fiyatları ile karşılaştıran alım-satım kararını vermeye yarayan analiz yöntemi olan temel analizde, sırasıyla ekonomi, sektör ve işletme analizleri yapılır ve kâr tahmini ile tamamlanır (www.babypips.com, 2013).

Ekonomik Koşullar: Hisse senetlerini etkileyen faktörlerin en geniş kapsamlı olanı genel ekonomik koşullardır. Bu koşullara, küresel ekonomik gelişmeler ve daha sonra da ülke ekonomisinde meydana gelen makro gelişmeler dâhildir. Petrol fiyatları, politik gelişmeler, faiz oranları, döviz kurları, hemen tüm sektörleri doğrudan ya da dolaylı bir şekilde etkileyerek hisse senedi fiyatlarına yansır. Ülke ekonomisinde

⁶⁹ KONURALP, Gürel, “Sermaye Piyasaları Analizler, Kuramlar ve Portföy Yönetimi”, 2nci Baskı, Alfa Yayıncılık, İstanbul, 2005, s.107.

canlılığın olması, şirketlerin kapasite kullanım oranlarını, kârlılığını ve verimliliğini dolayısı ile hisse senetlerinin değerlerini artırmaktadır. Aksi gelişmeler ise, hisse senetlerinin değerini olumsuz etkilemektedir. Ekonomide durgunluk ve gerileme, hisse senedi fiyatlarının düşmesine yatırımcıların ellerinde bulundurdukları menkul kıymetlerin azalmasına neden olmaktadır. Ülkelerin ekonomilerinde çeşitli zamanlarda dalgalanmalar görülmektedir. Meydana gelen söz konusu ekonomik dalgalanma hareketlerinin dalga boyu uzun olanlara “konjonktür dalgalanmaları” denilmektedir. Bu tür dalgalanma dönemleri büyüme ve gelişme ile daralma ve gerileme dönemleri olarak iki temel bölümde izlenebilir. Büyüme ve gelişme evresinde üretim, yatırım ve dolayısıyla tüketim artışı görülür. Bu durum işletmelerin kârlılıklarının artmasına ve hisse senetlerinin değerlerinin artmasına olanak verir. Küçülme ve daralma dönemlerinde ise, işsizlik ve enflasyon artışı, kapasite kullanım oranlarında ve verimlilikte düşüş görülür. Sonuçta, kârlılık ve piyasaya yatırım yapanların sayısında önemli azalışlar ortaya çıkar. Dolayısıyla, piyasaları analiz ederek yatırımcılara yön veren kişilerin, ekonominin hangi aşamada olduğunu ve ne yönde hareket edebileceğini bilmeleri, doğru yatırım kararlarını verilmesinde önemli bir rol oynar. Ekonomi bilimi, temel olarak toplumların neyi, nasıl ve kimin için üretmesi gerektiğini incelemektedir. Makroekonomi dalı ekonomiyi toplu olarak incelemektedir. Bir başka ifadeyle ekonomideki kaynakların kullanımındaki etkinlik, toplam üretim ve onun büyümesi, enflasyon, işsizlik, toplam yatırımlar ve tasarruflar para arzı ve talebi, faiz oranı, döviz kuru gibi konular makroekonominin analiz alanına girmektedir⁷⁰. Makroekonomik analizler içerisinde aşağıdaki belli başlı ekonomik sorunlar göze çarpmakta ve ele alınmaktadır. Bunlar; yeterli bir istihdam düzeyi, fiyat istikrarı, enflasyon sorunu, ekonomik büyüme, ödemeler dengesi fazlası, gelir ve servetin dengeli dağılımı gibi konulardır. Ekonomik analizde kullanılan önemli ekonomik göstergeler, milli gelir, yatırımlar, istihdam, enflasyon ve faiz oranlarıdır⁷¹.

Sektör Analizi: İkinci olarak, şirketin faaliyette bulunduğu sektördeki gelişmeler ve sektörün makroekonomik gelişmelere duyarlılığı da önemlidir. Her sektörün ekonomik gelişmelere tepkisi farklı olabilir. Bazı sektörler olumlu etkilenirken

⁷⁰ KARAN, Mehmet Baha, “Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi”, Birinci Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2004, s.443.

⁷¹ KONURALP, Gürel, “Sermaye Piyasaları Analizler, Kuramlar ve Portföy Yönetimi”, Alfa Yayıncılık, 2nci Baskı, İstanbul, 2005, ss.111-130.

bazıları olumsuz etkilenebilir. Ekonomik analizde anlatılan göstergeler ne kadar makro göstergeler olsalar da, temelde mikroekonomik yaklaşımlar bu tür sektörel analizlerde, makro büyüklükler ile beraber değerlendirilmelidir.

Bu analizlerin yapılmasındaki bir maksat da, hangi sektörün veya sektörlerin kârlı olduğunun belirlenmesidir. Örneğin, havayolu taşımacılığı endüstrisi petrol fiyatlarından önemli ölçüde etkilenir. Sektör seçiminde dikkate alınması gereken temel konular, özelleştirme, savaş tehdidi, konjonktür dalgalanmalar yeniden yapılanma süreci, dış ticaret uygulamalarında beklenen değişimler gibi konulardır.

Sektörlerin gelişme trendleri ile ekonominin gelişme trendi arasında önemli bir ilişki var olmasına rağmen bazı durumlarda farklı sonuçlar da ortaya çıkabilmektedir. Ekonominin gelişme dönemlerinde bazı sektörlerde gerileme ortaya çıkabilmektedir. Bunun sebepleri; teknolojik eskime, moda ve talepte yaşanan daralma gibi sıralanabilir. Bunun tersi bir durum da söz konusu olabilir. Ekonominin daralmakta olduğu bir dönemde bazı sektörler önemli ilerlemeler kaydedebilir. Bu durumda, yatırımcıların ekonomik gelişmeye paralel olarak endüstride meydana gelebilecek değişimleri de dikkate almaları önem arz etmektedir. Sektöre ilişkin olarak, ekonomideki değişimlerin sektör üzerindeki etkisi, devletin ve ulusal ve uluslararası ekonomik kuruluşların sektör üzerindeki etkileri, sektörün üretim ve hizmet kapasitesi, sektörün hayat seyri*, sektörün arz ve talebinin gelişme eğilimi, teknolojik gelişmelerin sektöre etkileri, sektörün emek yoğun ya da teknoloji yoğun bir sektör olma özelliği, emek yoğun sektörlerde işçi ve işveren ilişkileri ve sosyal örgütlenmelerin gücü, hammadde kaynaklarının elde edilmiş yerleri, sektörün üretmekte olduğu mal ve hizmetlerin talep esnekliği gibi bilgilerin analiz edilmesi gereklidir.

Şirket Analizi: Üçüncü aşamada ise, şirket analizi gelmektedir. Temel analizin yaygın şekli, yukarıdan aşağıya, genelden özele, ya da tümevarım olarak nitelendirilebilecek bir yaklaşımla, genel makro verilerden başlayarak işletmeye ait mikro etkenlerin analiz edilmesiyle sona eren bir süreç olmasıdır. Şirket analizlerinin yapılmasındaki temel faktörler, şirketin geçmiş dönemlerdeki performansları ve mevcut

* Her sektör, başlangıç, büyüme, olgunluk ve durgunluk-gerileme olarak adlandırılan aşamalardan birisi içinde kabul edilir. Sektörün hangi yaşam aşamasında bulunduğunu bilmek de temel analizde önemli olabilir. Belirsizliğin yüksek olduğu aşamalarda olan sektörlerle yatırım yapmanın yüksek risk taşıdığı; buna karşılık geleceği parlak işletmelerin doğru tespit edilebilmesi durumunda aynı zamanda yüksek getiri potansiyeli taşıdığıdır. Belirsizliğin düşük olduğu aşamalarda işletmelere yapılan yatırımlarda ise, risk ve buna paralel olarak potansiyel getiri daha düşüktür.

döneme ait verileri incelenerek gelecek hakkında tahminlerde bulunmaktır. Böylece söz konusu şirketin hisse senetlerine yatırım yapılıp yapılmayacağı kararı daha sağlıklı bir şekilde verilecektir. İlk olarak şirketin zayıf ve güçlü yönleri ile rekabet gücünün belirlenmesi konusunda yatırımcılara bilgi sağlayan SWOT Analizi (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats* – Güçlü Noktalar, Zayıf Noktalar, Fırsatlar, Tehditler) yapılması gerekir. Bu analiz ile güçlü ve zayıf yönler detaylı olarak ortaya konularak sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Şirket analizinde nitel ve nicel faktörler olmak üzere iki temel inceleme alanı söz konusu olmaktadır. Şirket ile ilgili nitel faktörler, şirketin ürettiği mal ve hizmetlerin özellikleri, talep durumu, müşteri bağlılığı, pazar payı, itibar, şirket kültürü ve şirket çalışanlarının ve yönetiminin kalitesi gibi konuları kapsar. Bu varlıklar entelektüel sermaye olarak da adlandırılır. Nicel faktörler ise, şirketin finansal durumunu gösteren finansal tablo ve raporlar ile geçmiş yıl finansal tablo ve raporlarıdır. Bu verilerden yola çıkılarak şirketin finansal performansı analiz edilir⁷².

Temel analizde, yukarıda ifade edilen aşamalar tamamlandıktan sonra yatırım yapılmak istenen işletmeye karar verilir. Bu amaçla, hisse senedinin gerçek değeri belirlenmeye çalışılır. Burada unutulmaması gereken husus, psikolojik faktörlerin hisse senedi piyasasında her zaman etkili olduğudur. Dolayısıyla, bir hisse senedinin piyasa fiyatı, gerçek değerinden daha düşük olduğunu tespit ettiğimiz halde, psikolojik faktörlerle düşmeye ve gerçek değerden daha da uzaklaşmaya devam edebilir. Hisse senedi piyasasında psikolojik etkenlerle ortaya çıkan hareketleri gözlemlemenin en iyi yollarından birisi de “teknik analiz” yaklaşımıdır.

1.3.2. Teknik Analiz Araçları ve Yöntemleri

Teknik analiz, basit ifadesiyle, belirli bir hisse senedinin gelecekteki fiyat hareketlerinin öngörülmesi amacıyla fiyat hareketlerinin incelenmesini içeren bir analiz yöntemidir. Teknik analiz, sermaye piyasasındaki fiyatların kendi içinde önceden izlenebilecek bir trende sahip olduğunu varsayar. Teknik analiz, geçmiş fiyat hareketlerini inceleyerek, gelecekte fiyatların hangi yönde değişeceğini tahmin etmeye çalışır. Böylece, piyasada fiyatların düşme ya da yükselme eğilimine girdikleri dönemleri tespit ederek yatırımcıların alım ve satım davranışlarının zamanlamasını

⁷² ÇETİNER, Ertuğrul, “İşletmelerde Mali Analiz”, 4ncü Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2005, s.143.

yapmaya çalışır. Kısaca, temel analiz hangi hisse senedinin alınması gerektiği sorusuna cevap ararken, teknik analiz ne zaman alınması gerektiği sorusuna yanıt aramaktadır.

Hisse senetlerinin fiyatları çoğu zaman temel değerlerinden farklıdır. Reel ve finansal piyasalarda fiyatlar arz ve taleple belirlenmektedir. Hisse senetlerinin fiyatları çoğu zaman gerçek değerine göre değil, insanların ne değer biçtiğine göre belirlenmektedir. Talep, alıcıların davranışını; arz ise, satıcıların davranışını yansıtmaktadır. Dolayısıyla, piyasalar insanların değer algısını yansıtmaktadır. Teknik analiz, matematiksel ve ekonomik modellerle, öngörülen değerle algılanan değer arasındaki uyumsuzlukları analiz etmektedir.

Finansal piyasaların etkinliği, teknik analizin de en önemli çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu teoriye göre, piyasalar etkin ise, piyasada beklenen getirinin üzerinde ekstra bir kazanç elde etme olanağı yoktur⁷³. Etkin piyasa savunucularının tersine, bugünün finansal piyasalarında teknik analiz daha önemli bir yer edinmektedir*. Etkin piyasalarda, fiyatlar tüm bilgileri yansıttığı için hem temel, hem de teknik analiz ile fiyat belirlemek mümkün olmayacaktır. Zayıf formadaki etkin piyasada, fiyatlar hâlihazırda geçmiş fiyatları yansıttığı için teknik analiz hiçbir şekilde gelecek fiyatları tahmin edemeyecektir. Yarı etkin piyasada ise, temel analiz de fiyat tahmininde çok faydalı olmayacaktır. Güçlü etkin piyasada ise, hiçbir analiz tekniği kullanılamayacaktır. Dolayısıyla, pek çok akademisyen teknik analizin fiyatları tahmin ettiği piyasaların, zayıf formda dahi etkin olamayacağını savunmaktadır.

Ancak, bugünkü piyasalarda şartlar sürekli değiştiği için etkinlik de değişebilmektedir. Bu nedenle teknik analiz de, temel analiz gibi tahmin ve analizde önemli bir araç olarak kalacaktır. Bu alandaki henüz net olarak araştırılmamış bir konu ise, iletişim ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile yatırımcıların bilgilere hızlı bir şekilde ulaşıp analiz etmeleri mümkün olduğu kadar, yatırımcıların analistlerin yorumlarına da hızlı bir şekilde ulaşmaları sonucu, temel ve teknik analiz sonuç ve yorumlarının da yatırımcıları etkilemesidir. Bu etkileme doğru olacağı kadar, hatalı bilgilerin zamanında filtrelenmemesi sonucu, yanıltıcı da olacağından yanlış fiyatlamalara sebep verebilir (www.babypips.com, 2013).

⁷³ FAMA, Eugene F., "Foundations of Finance", Basic Books, New York, 1976.

* Bu hızlı değişimin en önemli nedeni gelişen iletişim ve bilgisayar teknolojileri ile yatırımcıların hızlı bir şekilde bilgiye ulaşabilmeleri ve bu bilgileri değerlendirebilmeleridir. Ayrıca, vadeli piyasaların gelişmesi de bu değişime önemli katkıda bulunmuştur, zira bu tür piyasalar teknik analiz için elverişli ortamı sağlamaktadırlar.

Teknik analiz, piyasanın dönüm noktalarını daha erken dönemlerde belirleme sanatı olarak da tanımlanabilir. Aslında teknik analiz, elektronik gibi tekniğe yönelik değil, tıp mesleği gibi teşhise yöneliktir. Her piyasa gibi, hisse senedi piyasasını da arz ve talep oluşturur. Goldberg ve Schulmeister (1988) teknik analiz ve piyasa etkinliği üzerine yaptıkları çalışmada, teknik analizde kullanılan saatlik verilerin günlük verilerden daha verimli sonuçlar vereceğini göstermişlerdir⁷⁴. Ayrıca, bu çalışmalarında teknik analizi vadeli piyasada uygulamanın normal piyasaya göre daha kazançlı olduğunu görmüşlerdir. Sonucu olarak da, çalışmalarında filtre kuralının diğer kurallardan daha önemli alım-satım sinyalleri verdiğini incelemişlerdir.

Bununla beraber, Friedman'ın (1953) ve Fama'nın (1970) öncülük eden çalışmalarından itibaren dahi, teknik analizin tahmin amacıyla kullanılması tartışmalı bir konu olmuştur, hatta teknik analizin kullanışsız olduğuna dair pek çok makale yayınlanmıştır⁷⁵. Bazı yayınlarda, arz ve talebe geç yanıt veren hisse senetlerinin başarılı teknik analiz için anahtar olacağı belirtilmiştir. Ancak, teknik analiz uygulayıcılarından Frankel ve Froot (1990) piyasa analistlerinin teknik analize önem verdiklerini not etmişlerdir⁷⁶. Euromoney tarafından 1980 yıllarında yapılan bir ankete göre de temel analizden teknik analize doğru bir yönelim vardır. Elektronik sistemlerin gelişmesi ile, tüm bilgiler en hızlı şekilde yayınlandığı için ve Routers, Telerate gibi gerçek zamanlı finansal hizmetler de bu bilgiler ile birlikte teknik analizleri de sundukları için teknik analiz olgusu piyasada hızla yayılmıştır.

Temeli, trendlerin belirlenmesi tekniği olan teknik analiz, analistlerin bu trendlere göre tahminler yapmasını ve tahminler ile yapılan işlemler sonucunda trendin olağan hareketinin speküle edilebileceği mümkündür. Froot ve diğerleri (1992) teknik analizlerin, hisse senetlerinde aşırı fiyat hareketleri sonucu baloncuklara neden olduklarını⁷⁷, Conrad ve Kaul (1988) ise, az miktarda hisse senetlerinden oluşan portföylerde yaptıkları çalışmada bu portföylerin haftalık getirilerinin otokorelasyonlu

⁷⁴ GOLDBERG, Michael; SCHULMEISTER, Stephan, "Technical Analysis and Stock Market Efficiency", Working Papers 88-21, C.V. Starr Center for Applied Economics, New York University, 1988.

⁷⁵ WONG, Wing-Keung; MANZUR, Meher; CHEW, Boon-Kiat, "How Rewarding Is Technical Analysis? Evidence from Singapore Stock Market", Working Paper No 0216, Department of Economics, National University of Singapore, 2002.

⁷⁶ FRANKEL, Jeffrey A.; FROOT, Kenneth A., "The Rationality of the Foreign Exchange Rate: Chartists, Fundamentalists, and Trading in the Foreign Exchange Rate", American Economic Review, Cilt 80, Mayıs 1990, ss.181-185.

⁷⁷ FROOT, Kenneth A.; SCHARFSTEIN, David S.; STEIN, Jeremy, "Heard on the Street: Information Inefficiencies in a Market with Short-term Speculators", Journal of Finance, Cilt 47, 1992, ss.1461-1484.

olduklarını tespit etmişlerdir⁷⁸. Shiller (1984, 1987) irrasyonel yatırımcı davranışlarının fiyatların aşırı yükselmesi ve piyasa volatilitesi ile sonuçlanacağını bulmuş, hatta Ekim 1987'deki dünya genelinde yayılan hisse senedi krizinin özellikle teknik analizden kaynaklanmış olabileceğini belirtmiştir⁷⁹.

Teknik analize göre, bir menkul değere ilişkin değerlemede bulunurken ekonomik faktörlerin incelenmesi zorunlu değildir. Teknik analizcinin yoğunlaşma alanı direkt o menkul değer, (hisse senedinin, piyasa endeksinin) fiyatı, işlem miktarı hareketleri, trendi, kısaca onun arz ve talebidir. Yani teknik analizci için önemli olan, firmanın ne yaptığı değil o firmaya ait hisse senedinin borsadaki performansdır.

Teknik analiz, pek çok gösterişli ve egzotik araçlar barındırmasına rağmen, aslında pazardaki arz ve talebi inceleyerek fiyatların gelecekte hangi yöne gideceğini tahmin etmeye çalışır. Teknik analizin araçlarını iyi kullanmayı öğrenerek daha iyi bir yatırımcı veya analist olmak mümkündür.

Sonuç olarak, yöneticiler, zamanlarının büyük bir çoğunluğunu karar almak için harcamaktadırlar. Doğru ve tutarlı kararların alınabilmesi, o kararların alınabilmesi için gerekli olan bilgilerin üretilmesi ihtiyacını doğurur. Bu da bilgi sistemlerinin tasarlanmasıyla mümkündür. Karar destek sistemleri bir bilgi sistemi olup, özellikle belirsizlik seviyesi yüksek olan kararlar için analitik modeller kullanarak, karar vericiye destek sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır.

Teknik analistin görevi, pazarın davranışını ve onun fiyatlara yansımalarını incelemektedir. Bu analiz için fiyat grafikleri ve teknik göstergeler en büyük yardımcısıdır. Teknik analizin temel kuralları içinde bu grafikleri sürekli inceleyerek dengenin hangi yöne gelişmekte olduğunu anlamaya çalışır. Bir teknik analist portföyünü oluşturmakla ilgili bir karar problemi ile karşı karşıyadır. Kullanıcı uygulamada veri tablosu olarak kullandığımız bilgileri kolayca elde edebilir. Fakat bir tabloda ve farklı özellikleri olan binlerce sayıyı, bir model oluşturmadığı sürece kararına destek verecek şekilde kullanamayacaktır⁸⁰.

⁷⁸ CONRAD, Jennifer; KAUL, Gautam, "Time-Variation in Expected Returns", Journal of Business, Cilt 61, 1988, ss.409-425.

⁷⁹ SHILLER, Robert. J., "Stock Prices and Social Dynamics", Brookings Papers on Economic Activity, Cilt 15, Sayı 2, Brookings Institution, 1984, ss. 71-87, ve SHILLER, Robert. J., "Investor Behaviour in the October 1987 Stock Market Crash: Survey Evidence", NBER Working Paper No 2446 Reprinted in Market Volatility, MIT Press, 1987.

⁸⁰ ÇETİNYOKUŞ, Tahsin; GÖKÇEN, Hadi, "Borsada Göstergelerle Teknik Analiz için bir Karar Destek Sistemi", Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No:1, 2002, ss.43-58.



Şekil 1.5: Çeşitli Teknik Analizler Yöntemleriyle Çizilmiş BİST100 Endeks Grafikleri

Bilgi teknolojileri her gün daha hızlı geliştikçe bu analizleri yapabilmek için yeni yöntemleri, yeni yöntemleri daha etkin kullanabilecek daha fazla veri yığını ortaya çıkmaktadır. Spektral analiz de, geçmiş verilere dayanan ve geçmişteki devirlerini, olayların oluşum sıklığını inceleyen bir yöntem olarak, teknik analiz yönteminin mantıksal yapısına benzemektedir. Dolayısıyla, burada, teknik analiz bölümünde anlatılanlar, ikinci bölümde incelenecek olan Spektral Analizin konusu için temel bilgi olarak değerlendirilebilir.

1.4. MENKUL KIYMETLER BORSALARI ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Sermaye piyasaları üzerine yapılan çalışmaların temel amacı, bu piyasalardaki dalgalanmaları etkileyen faktörlerin belirlenmesidir. Bu çalışmalar dünyanın her bölgesindeki değişik özellikteki piyasalar için yapılmakta ve şartlara göre değişik ilişkiler tanımlanabilmektedir. İlişkilerin doğru bir şekilde belirlenmesi, maruz kalınacak finansal risk miktarını düşürecek olması, bu konuyu piyasa aktörlerinin ilgi odağı haline getirmektedir. Bu incelemelerden bazıları gelişmiş bazıları ise, gelişmekte olan piyasalar üzerinde yapılmıştır. Kaynak taraması sonucunda tespit edilen çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

1.4.1. Gelişmiş Ülke Borsaları Üzerinde Yapılmış Çalışmalar

Granger ve Morgenstern (1962) New York hisse senedi piyasasını spektral analiz yöntemini kullanarak incelemiştir. Analizlerinde ABD'nin SPK kuruluşunun (*Securities and Exchange Commission-SEC*) 1939-1961 yılları arasındaki haftalık fiyat serisini, altı ABD firmasının 1946-1960 yılları arasındaki aylık fiyat serisini, bu altı şirketin yanında iki ABD firmasının daha haftalık fiyatlarını ve hisse sentlerinin haftalık cirolarını, S&P'nin 1957-1961 yılları arasındaki hisse senedi fiyat endeksini ve 1915-1961 yılları arasındaki Dow-Jones endeksini veri olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak, hisse senedi fiyatlarının kısa sürelerdeki hareketlerinin rastgele yürüyüş modelini izlediklerini; bir yıldan daha uzun süreli yatırım yapan yatırımcıların ise, piyasanın hareketi içindeki farklı fazdaki frekans bileşenlerini iyi tespit etmelerini tavsiye etmişlerdir. O yıllarda yeni gelişen bir teknik olarak kullandıkları spektral analiz yöntemi ile gürültü gibi gözükene pek çok olayın içindeki döngüsel gerçekliği ortaya koymanın mümkün olabileceğini öngören, Granger ve Morgenstern'in (1962) bu çalışması spektral analiz konusunda bir başlangıç olup, olayların frekans ortamında düşünülüp değerlendirilmesi ile yorumlanmasının ekonomi açısından daha doğal sonuçlar vereceği düşünülebilir⁸¹.

Granger ve Morgenstern (1962) spektral yöntemi New York borsasına uygulamışlardır. Serilerin kısa dönem hareketlerinin rastgele yürüyüş hipotezini

⁸¹ GRANGER, Clive W. J., MORGENSTERN, Oscar, "Spectral Analysis of New York Stock Market Prices", Princeton University, Econometric Research Program, Research Memorandum No 45, Eylül 1962.

desteklediğini, ancak uzun dönem hareketlerinin ise, spektral yöntemi desteklediğini analiz etmişlerdir. Mevsimsel ve konjonktür etkilerin neredeyse hiçbir etkisinin olmadığı, hisse senedi satış hacmi ile hisse senetleri fiyatları arasında ise, çok az bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Granger ve Morgenstern (1970) Sidney adlı hisse senetleri borsasını da 1961-64 yılları arasında 160 hafta boyunca incelemişler ve tahmin edildiği gibi düz bir spektra elde etmişlerdir. Ellerindeki veri uzun dönemi içermediği için diğer uzun dönem bileşenlerini belirleyememişlerdir.

Granger ve Hatanaka (1964), New York borsasında işlem gören Woolworth hisse senetlerinin Ocak 1946 – Aralık 1960 yılları arasında aylık ortalama fiyatlarını kullanarak spektrumunu tahmin etmişlerdir. Spektrum, alçak frekanslarda baskın özellik gösteren ve genelde düzgün bir şekle sahip olan ekonomik zaman serilerinin standart şekline eş bir özellik göstermiştir. 2,8 aylık bir periyottaki tepe noktası dışında önemli bir tepe oluşmamıştır.

Percival (1973) ise, menkul kıymetler piyasası fiyatları ve verimleri üzerine yapmış olduğu çalışmada, kronolojik zaman yerine olayların oluşumunu bir zaman çizelgesi olarak değerlendirmiştir. Ekonomik genişleme ve daralmayı, olayların oluşumunu olarak belirlemiş ve bu olayları bir zaman göstergesi olarak belirlemiştir. Böylelikle, başta etkin piyasalar teoremi olmak üzere spektral analize karşı görüşlerin üstesinden gelmeyi düşünmüştür. Ekonomik konjonktür ile menkul kıymetler piyasası arasındaki ilişkileri incelediği çalışmasında çapraz spektral analizi kullanmıştır. Sonuç olarak da; kısa ve uzun vadeli devlet iç borçlanma senetlerinin (DİBS) getirilerinin değişen ekonomik konjonktürden etkilendiklerini; kısa vadeli getirilerin uzun vadeli getirilere göre daha önce etkilendiklerini; oranların, döngünün tepe noktasında yüksek, dip noktasında ise düşük olduğunu; verim eğrisinin konjonktür şartlarından uzun vadeli verim ile kısa vadeli verim arasındaki fark kadar etkilendiğini ve farkın, tepe noktasına yakın yerde küçük, dip noktasında ise büyük olduğunu incelemiştir⁸².

Poterba ve Summers (1987) ile Lo ve MacKinlay (1988), hisse senetleri fiyatlarının tahmin edilemeyeceğini örneğin, Martingale Fark Dizisi şeklinde olmadıklarını savunan geleneksel düşünceye karşı çıkararak, spektral şekil testlerinin, varyans sınırları testlerinin yalıtımındaki sıfır frekansın incelemesi olarak yorumlanacak Martingale fark ihlallerinin frekanslarını araştırdığı şeklinde yorumlamışlardır. Darlauf

⁸² PERCIVAL, John R., "Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time", Working Paper No: 10-76, University of Pennsylvania, The Wharton School, 1973.

(1991) bu literatürü, tek bir istatistik üzerinde yoğunlaşmış olan spektral şekli, farklı hipotezler üzerinde kullanmak üzere geliştirerek, rastgele fonksiyon uzayındaki zayıf yakınsama problemini, spektral dağılım sapmalarının analizi olarak daha genel bir şekile dönüştürmüştür. Spektral dağılım fonksiyonunun genel asimptotik teorisi, Martingale hipotezinin pek çok testinin oluşmasına izin verir. Bu arada, Darlauf, Poterba ve Summers (1987) ve Lo- MacKinlay'in (1988) veri setlerini kullanarak haftalık ve aylık hisse senedi getirilerinin Martingale farkları olduğunu ifade eden sıfır hipotezine karşı bazı kanıtlar ortaya çıkardıklarını bulmuşlardır. Bulduğu sonuçlar, hisse senetlerinin uzun vadede ortalamaya geri döndükleri şeklindedir. Bu çalışmalar rastgele yürüyüş teorisine alternatif çalışmalara güç katmıştır. Bu konudaki bir başka çalışmada Fond ve Qualiris (1995) döviz kurları üzerine yapılmış ve Martingale teorisine karşıt sonuçlar elde etmişlerdir.

Koh (1989) Güney Kore Borsa'sının yapısını ve piyasa etkinliğini test ettiği çalışmada, 1 Ocak 1978 – 31 Aralık 1980 aralığında 30, 1 Ocak 1986 – 31 Aralık 1988 aralığında ise 34 önemli firmanın hisse senedi fiyatlarının, rastgele yürüyüşü izleyip izlemediklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, Kore Borsa'sının günlük hisse senedi getirilerinin rastgeleliğe sahip olmadığı ve bu sonucun da serisel korelasyon ve koşu testleri ile tutarlı olduğunu tespit etmiştir⁸³.

Alexakis (1992) Atina Borsa'sı üzerine yaptığı çalışmada 1240 gözlem verisi kullanmıştır. Bu veriler 0,5 frekansında 2 günlük, 0,2 frekansında haftalık, 0,05 frekansında aylık ve 0,004 frekansında yıllık döngüler içermektedir. Seriler Hamming Penceresi ile düzgünleştirilmiştir. Çalışmada, borsa verilerindeki fiyat değişimlerinin, Etkin Piyasa Teorisi'nin belirttiği gibi beyaz gürültü olup olmadığı incelenmiştir. Eğer fiyat değişimleri “beyaz gürültü” sürecini takip ediyorsa, spektral analiz sonucu herhangi bir döngünün gözlenmemesi gerekir, çünkü “beyaz gürültü” mümkün olan en düzeltilmiş seridir ve herhangi bir frekansa veya sivri noktaya sahip değildir. Çalışmadan üç önemli sonuç çıkarılmıştır. Bunlardan birincisi, Atina Borsa'sındaki fiyat değişimleri kesinlikle beyaz gürültü değildir İkincisi, periyodogram alçak frekanslarda büyük varyasyon, yüksek frekanslarda ise, küçük varyasyon göstermektedir. Bu tür periyodogramlar pozitif korelasyonlu otoregresif sürecin göstergesidir. Bu sonuç, rasyonellik testlerini ve ardışık fiyat değişimlerinin pozitif

⁸³ KOH, Sung Soo, “The Korean Stock Market: Structure, Behavior, and Test of Market Efficiency”, Dissertation Thesis, City University, Banking & Finance, Business School, Londra, 1989, ss.139-152.

bağımlılığını gösteren Box-Jenkins modelini onaylamaktadır. Üçüncü sonuç ise, periyodogramın 0,05 ve 0,20 frekanslarında aylık ve haftalık döngüleri göstermesidir. Sonuç olarak, Atina Borsası'nın spektral analiz ile yapılan analizinde, fiyat değişimlerinin Etkin Piyasalar Hipotezinin tahmin edeceği gibi bağımsız olmadığı belirlenmiştir. Çalışma ayrıca, Yunan yatırımcıların bu döngüleri belirleyemediğini ayrıca, bu haftalık ve aylık döngülerin sebeplerini (*causes*) belirlemenin kolay olmadığını, haftalık değişimler için Pazartesi günü veya haftanın diğer bir günü etkisi olabileceğini; aylık değişimlerin ise, her ayın yirminci gününü gösterdiğini belirlemiştir⁸⁴.

Bunların yanında, rastgele yürüyüş ve Martingale teorisinden ayrı olarak hisse senedi fiyat davranışını incelemek için bazı çalışmalar da yapılmıştır. Knif ve Luoma (1992) Helsinki borsasından aldıkları getirilerin spektrumundan elde edilen 11 orijinal tanımlayıcı spektral karakteri temel alarak, spektrumun üç ana temel karakterini (boyut, şekil ve değişkenlik) geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, spektral yaklaşımın hisse senedi piyasalarının analitik analizi için olduğu kadar, tanımlayıcı analizi için de kullanılabilirliğini göstermiştir. Knif, Pynnonen ve Luoma (1995) Finlandiya ve İsveç borsaların spektral karakteristikleri arasındaki farklılıkları incelemiştir. Çalışmalarında iki piyasa arasındaki dönüş spektrumlarının farklı olduğunu, daha oynak olan İsveç hisse senedi piyasasının iki-günlük döngüler ile yaklaşık iki haftalık otoregresif bağımlılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Barkoulas ve Baum (2000) ise, yaptıkları bir çalışmada Japon spot döviz kurları, vadeli döviz kurları, hisse senetleri fiyatları, vadeli döviz primleri gibi finansal zaman serilerinde kısmi dinamik davranış için spektral regresyon testini uygulamıştır. Çalışmaları, uzun hafızanın, frekans sızırıya yaklaştıkça spektral yoğunluğun sonsuza yaklaştığını, bir başka deyişle, alçak frekanslarda serilerin daha fazla güce sahip olduğunu göstermiştir.

Bu arada, spektral analizin ilk uygulama zamanlarında kullanılan diğer bir yöntem de çapraz spektral analiz ve bu yöntemin fonksiyonları tutarlılık (*coherence*), faz (*phase*) ve kazanç (*gains*) grafikleri olmuştur. Tutarlılık, iki serideki benzer frekanslar arasındaki ilişkinin kuvvetini ölçerken; kazanç, iki serideki frekanslar bileşenlerinin arasındaki regresyon katsayısını belirler ve faz da, bir serinin diğer seriye

⁸⁴ ALEXAKIS, Chirstos, "An Empirical Investigation of the Efficient Market Hypothesis: The Case of the Athens Stock Exchange", Dissertation Thesis, University of York, Department of Economics and Related Studies, York, 1992, ss.81-94.

öncülük etmesi durumunda aradaki gecikmeyi belirler. Çapraz spektrum analiz konusundaki ilk çalışmalardan biri Granger ve Hatanaka (1964)'nin Dow-Jones sanayi endeksi ile sanayi üretimi arasındaki ilişkiyi inceleyerek oldukça düzensiz salınımları tespit ettikleri çalışmadır. Bu çalışmada Dow-Jones endeksinin iyi bir gösterge olmayacağını yorumlamışlardır.

Çapraz spektral analiz, borsalar arasındaki ilişkilerin analizinde de kullanılmış ve ilginç tespitler yapılmıştır. Hillard (1979) tarafından yapılan çalışmada, on farklı sermaye piyasası, frekans düzleminde incelenmiş ve Avrupa kıtası içindeki piyasalar arasında yüksek seviyede tutarlılık (*high coherence*) tespit edilirken kıtalar arasında da düşük seviyede ilişki bulunmuştur. Fisher ve Palasvirta (1990) 23 ülkenin sermaye piyasalarının 1987 krizindeki ilişkisini incelemişler ve tutarlılığın ortalamasını Hillard'ın çalışmasındaki on ülkenin tutarlılığın ortalaması ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak da, tutarlılığın 1974'ten 1988'e arttığını ve piyasaların birbiriyle daha fazla bağımlı hale geldiklerini tespit etmişlerdir. Knif ve diğerleri (1995) Finlandiya ve İsveç borsalarının getirileri arasındaki ilişkiyi çapraz spektral analiz tekniği inlemişler ve İsveç borsasının on gün öncü olduğunu ancak çalışmanın daha sonraki aşamalarında bu sürenin beş güne düştüğünü ve doğrusal olmayan bir faza sahip olduğunu, dolayısıyla öncü terimin bileşik etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Granger ve Morgensten (1970), Hillard (1979), Fisher ve Palasvirta (1990) ve Smith (1999) analizlerinde dünya genelindeki değişik borsalar arasındaki sistematik ilişkinin ortak hedefinin yatırımcıların uluslararası yatırım çeşitlendirmesinden daha fazla fayda kazanmak olduğunu, ancak piyasalar arasındaki uyumun (*coherence*) artması ile bu kazancın azaldığını tespit etmişlerdir. Özellikle, Avrupa Birliği gibi ekonomik yapılar, bu yapılar içindeki ülkelerin borsalarını daha fazla birbiriyle bağlı hale getirmiş, ayrıca ABD, Japonya, İngiltere ve AB piyasaları arasındaki öncül takipçi aralığı giderek azalmıştır.

Ancak, klâsik spektral yöntem, durağan olmayan serilerin analizinde kullanılamaz, bu nedenle iki tayflı spektrum (ikili-spektrum) (*bispectrum*) bu tür serilerin incelemesinde uygun bir teknik olarak kullanılabilir. Örneğin, Godfrey (1965) gecikmeli momentlerin Fourier dönüşümünü yardımıyla, bir şirketin hisse senetleri ile Merkez Bankası'ndaki zorunlu karşılık miktarı verilerini kullanarak ikili-spektrumu tahmin etmiştir. Joyeux (1979) uyumlu spektrumların tahminini ve yorumlanmasını

incelemiş ve ikili-spektrum tekniğini iki bireysel seriye uygulamıştır. Çalışmasında alçak ve yüksek frekanstaki bileşenlerin birbirleriyle ilişkide olduklarını ve dolayısıyla serilerin durağan olmadıklarını görmüştür.

Spektral analizin etkin kullanımı için serilerin durağan olma zorunluluğu, uygulanmasını zorlaştırmıştır. Bu nedenle dalgacık (*wavelet*) analizi finansal zaman serilerin dinamiklerini ortaya koyarak spektral analize üstünlük sağlamaktadır. Dalgacıklar, durağan olmayan karmaşık fonksiyonların analizinde, yapısal değişimin incelenmesinde, zaman ölçekli ayrışım ve yoğunluğun tahmininde kullanılırlar. Karmaşık fonksiyonların analizi ile ilgili ilk çalışma Johnstone ve Silverman (1997) tarafından kısa ve uzun dönemli verilerin durağan fakat ilişkili (*corelated*) varsayımı durumunda dalgacık katsayı tahmincilerini bulmak amacıyla yapılmıştır. Daha sonra, Von Sachs ve MacGibbon (1997) durağan olmama durumunu kabul ederek, dalgacık katsayı tahmincilerinin yanlılığını ve sapmasını (*bias and variance*) türetmişlerdir. Analizlerindeki örnekleri boyunca, durağan olmama durumunun yavaşça değiştiğini varsayarak, birim zamanda yapılan her daha fazla gözlem tahmincilerin yerel olarak asimptotik yakınsamasına (*locally asymptotic convergence*) neden olmaktadır. Bu çalışmanın önemi, finansal verilerdeki ve özellikle ilk diferansiyelden sonra oluşan tek ve en önemli değişkenin çoğu durumda ARCH süreciyle de modellenen ikinci sıradan durağan olmaması (*second order non-stationarity*) gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

Pan ve Wang (1998) veri üreten sürecin evrimsel olduğunu düşünerek dalgacık katsayılarının zamanla değiştiğini gösteren yeni bir model sunmuşlardır. Modeli $Y_t = W_t^T w_t + \varepsilon_t$ ve $w_t = w_{t-1} + V_t$ eşitlikleri ile göstermişlerdir. Eşitliklerde w_t dalgacık katsayıları; V_t ise katsayıların zamanla değişme kovaryansıdır. r_t 'nin temettü verimi ve ilgili fonksiyonun $f(r_t)$ olduğu model aylık hisse senetleri fiyat endeksine uygulanmış elde edilen deneysel sonuç tahminleri son derece başarılıdır.

Ramsey ve diğerleri (1995) günlük hisse senedi getirilerinin istatistiksel olarak benzerliğini incelemişler ve yarı-dönemsellik ile ilgili delil aramışlardır. Yaptıkları dalgacık analizi ile sisteme etki eden şokların yarı-dönemsel özellik taşıdığını göstermişlerdir. Ramsey ve Jhang (1996) bu çalışmayı 3 Ocak 1928 – 18 Ekim 1988 tarihleri arasındaki S&P 500 endeksindeki 16384 günlük veriye uygulamışlardır. Zaman-frekans dağılımı herhangi bir frekans için bir güç değeri göstermemekle beraber,

bazı frekansların zaman içinde güçlendiğini veya kaybolduğuna dair deliller elde etmişlerdir.

Ayrıca dalgacıklar, rejim değişimi, izole şoklar gibi olayları finansal sisteme etkisini incelenmesinde kullanılabilir. Bu amaçla, Wang (1995) ve Starng ile Nguyen (1996) Daubechies dalgacıklarını kullanarak süreksizliklerin nasıl tahmin edileceğini göstermişlerdir.

Dalgacıkların diğer bir kullanım alanı ise, serileri zaman ölçekli bileşenlerine ayırmasıdır. Örneğin, hisse senetleri verilerinin farklı zaman ölçeklerindeki davranışsal özellikleri de farklı olmaktadır. Hisse senedi yatırımcıları alım yapacakları zaman farklı gün, hafta, ay, yıl vb. gibi değişik zaman boyutlarındaki piyasa şartları için farklı davranış göstermektedirler. Davidson ve diğerleri (1997) ABD borsalarını dalgacık analizini kullanarak incelemiştir.

1.4.2. Gelişmekte Olan Ülke Borsaları Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Gelişmekte olan ülkelerin borsalarının spektral analiz ile incelenmesi ise, hem verilerin daha kısıtlı olması, hem de ekonomilerin farklı faktörlerin (politik, kültürel, dini vb. gibi) etkisi altında olması nedeniyle gelişmiş ülke analizlerine göre çok farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, spektral analiz ile yapılmış çalışmaları ayrı bir bölüm olarak vermekte fayda olacaktır. Ancak, gelişmekte olan ülke borsaları için spektral analiz yöntemiyle yeterli çalışma yapılmamış olması, bu tez çalışması için bir dezavantajdır.

Sharma ve Kennedy (1977), Bombay, Londra ve New York borsalarının karşılaştırmalı bir analizini yapmışlardır. Sonuç olarak, ilk fark serilerin (ham ve günlüğe dönüştürülmüş) spektral yoğunluk tahmini, serilerin rastgeleliğini teyit etmiş ve hiçbir döngüsel veya mevsimsel bileşen bulunmamıştır. Bu testlerin sonucunda, Bombay borsasının rastgele yürüyüş hipotezine uyduğu ve davranış anlamında gelişmiş piyasaların borsalarına eşdeğer olduğu görülmüştür.

Bununla beraber, Kulkarni (1978), Hindistan hisse senetleri fiyatlarının rastgele yürüyüşüne ilişkin oto-spektral testi yapmıştır. Çalışmasında, Kalkuta ve Yeni Delhi borsaları dışındaki Hindistan borsalarının (Bombay, Madras, Ahmedabad) haftalık verilerinin benzerlik gösterdiğini tespit etmiştir. Dört haftalık gecikme ve dolayısıyla dört haftalık otokovaryans fonksiyonu, haftalık seriler arasındaki rastgele olmayan

yürüyüşü göstermektedir. Kalkuta ve Delhi borsalarına ait seriler dışındaki diğer haftalık seriler mevsimsel veya diğer döngüsel etkilerden uzak görünmektedir. İncelenen altı seriden dördü, spektral gösteriminde dört aylık gecikme yapısı göstermektedirler. Bu da, rastgele yürüyüşün olmadığını göstermektedir. Tüm aylık seriler bir veya iki mevsimsel döngü veya harmonikleri tarafından etkilenmişlerdir. Benzer bir çalışmada da, Ranganatham ve Subramaniam (1993), zayıf formda etkin piyasa hipotezini test etmişler ancak hiçbir dayanak bulamayarak rastgele yürüyüşün olmadığı sonucuna varmışlardır.

1.4.3. Borsa İstanbul Üzerinde Yapılmış Çalışmalar

Borsa İstanbul (BİST) üzerine spektral analiz yöntemi kullanılarak yapılmış çalışma neredeyse çok azdır. Bundan dolayı, BİST üzerine başka yöntemlerle yapılmış çalışmaları gözden geçirerek, bu tez çalışmasındaki sonuçlarla karşılaştırmak ve değerlendirmek mümkün olabilecektir.

Kargı ve Terzi (1997) 1986-1996 döneminde Türkiye’de BİST, faiz oranları, enflasyon ve reel kesim arasında nedensellik ilişkilerini ve dinamik etkileşimlerini VAR yöntemi ile belirlemeyi amaçlamışlardır⁸⁵. Bu doğrultuda çalışmada dört değişkenli (BİST Ulusal-100 Endeksi, TÜFE, bir yıllık mevduata uygulanan faiz oranları ve sanayi üretim endeksi) bir VAR modeli oluşturulmuştur. Gecikme uzunluğu Akaike ve Schwarz testleri ile sekiz olarak belirlenmiştir. Çalışmada, faiz oranları hariç diğer değişkenlerin logaritmaları alınmış ve mevsimsel dalgalanmalar modele dâhil edilmiştir.

VAR modelinden elde edilen ve Granger Nedensellik ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli araç olan F testi sonuçlarına göre;

- i. BİST Endeksi ile enflasyon arasında bir nedensellik ilişkisinin olduğu, bu ilişkinin çift yönlü olduğu, her iki değişkenin kendi geçmiş değerlerinden de etkilendiği,
- ii. Enflasyonun BİST Endeksi dışında faiz oranlarıyla da önemli bir ilişki içerisinde olduğu, bu ilişkinin çift yönlü olduğu,
- iii. Sanayi üretim endeksi ile diğer değişkenler arasında önemli bir ilişkinin olmadığı, sanayi üretim endeksinin sadece kendisinin geçmiş değerlerinden etkilendiği belirlenmiştir.

⁸⁵ KARGI, Nihan; TERZİ, Harun, “Türkiye’de İMKB, Enflasyon, Faiz Oranı ve Reel Sektör Arasındaki Nedensellik İlişkilerinin VAR Modeli ile Belirlenmesi”, İMKB Dergisi, Ekim-Aralık 1997, ss.27-39.

Çalışmanın dinamik etkileşimler kısmında ise, varyans ayrıştırması sonuçlarına göre faiz, enflasyon ve sanayi üretim endeksi değişkenlerinin BİST üzerindeki etkisi dikkate alındığında, BİST’de meydana gelen değişimin önemli bir kısmının kendisinden ve kısmen de TÜFE’den ve faiz oranlarından kaynaklandığı belirlenmiştir.

BİST, faiz oranları, enflasyon ve reel kesim arasındaki dinamik etkileşimlerin VAR yöntemi ile belirlenmesine yönelik olarak yapılan bu çalışma sonucunda;

- i. Hisse senetleri piyasasının reel kesimdeki değişimleri açıklamakta yetersiz kaldığı, reel kesimin borsadaki değişmelere pozitif yönde tepki vermesine rağmen bu tepkinin derecesinin yeterince güçlü olmadığı,
- ii. Enflasyondaki değişimin önemli bir kısmının faiz oranları tarafından açıklandığı ve faiz oranlarındaki değişmelere enflasyonun pozitif tepki gösterdiği,
- iii. Enflasyonun reel kesimdeki değişmelerin küçük bir kısmını açıklarken, reel kesimin enflasyondaki şoklara negatif yönde fakat, oldukça zayıf tepki gösterdiği,
- iv. BİST endeksinin enflasyondaki değişmelere pozitif yönde fakat, zayıf tepki gösterdiği, ancak enflasyonun BİST endeksindeki değişimin önemli bir kısmını açıkladığı, böylece BİST’deki değişimlerin kaynağının reel sektördeki değişimlerden ziyade enflasyonist baskıların olduğu belirlenmiştir.

Gökçe (2002) günlük verilerden hareketle 04.01.1988-31.01.2001 dönemi için BİST’de oluşan günlük toplam işlem hacmi ile bileşik endeks (Ulusal-100) değerleri arasındaki nedensellik ilişkisini Granger Nedensellik Testini kullanarak sınamış ve fiyat-hacim arasındaki ilişkiyi incelemiştir⁸⁶. Çalışmada kullanılan değişkenler logaritmik dönüşüme tâbi tutulmuş ve birinci farkı alınmıştır. Augmented Dickey Fuller birim kök testi uygulanmak suretiyle farklı gecikme uzunluklarında serilerin durağanlıkları sınanmıştır. Granger Nedensellik Testi farklı gecikme uzunluklarında denenmiş ve bütün gecikme uzunluklarında “fiyat, hacmin Granger Nedeni değildir” boş hipotezi çok yüksek bir güven derecesi ile reddedilmiştir. Özetle, söz konusu çalışmada hacimde meydana gelen değişikliklerin fiyatta meydana gelen değişimlerden kaynaklandığı sonucu ortaya çıkmıştır. Buna göre, fiyat-hacim arasındaki ilişkinin tek yönlü olduğu ve nedensellik ilişkisinin yönünün fiyattan işlem hacmine doğru olduğu

⁸⁶ GÖKÇE, Atilla, “İMKB’de Fiyat-Hacim İlişkisi: Granger Nedensellik Testi”, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, 2002, s.4.

belirlenmiştir. Bu ilişki, fiyatların yukarı doğru veya aşağı doğru olduğu durumlarda da geçerliliğini koruyacaktır. Yani, adı geçen çalışmada fiyatların her iki yöndeki hareketinin işlem hacminin yükselmesi neden olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz, Güngör ve Kaya (2004) hisse senedi fiyatları ile TÜFE, para arzı, faiz oranı, döviz kuru, dış ticaret dengesi ve sanayi üretim endeksi değişkenleri arasında bir ilişkinin olup olmadığını 1990-2003 dönemini kapsayacak şekilde araştırmışlardır. Hisse senedi fiyatları ve makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak amacıyla çalışmada en küçük kareler tahmin yöntemi, Johansen-Juselius eş-bütünleşme testi, Granger Nedensellik testi ve VEC modeli kullanılmıştır⁸⁷.

Hisse senedi fiyatları ile makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü araştırmak amacıyla Granger Nedensellik sınaması yapılmıştır. Serilerin durağanlığının test edilmesinde Augmented Dickey-Fuller birim kök testi kullanılmış ve dış ticaret dengesi, faiz oranı, sanayi üretim endeksi ve M1 değişkenlerinin seviye değerlerinde; döviz kuru, BİST endeksi ve TÜFE değişkenlerinin ise, birinci fark değerlerinde durağan olduğu belirlenmiştir. BİST endeksi değişkeni ile seçilmiş makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için çalışmada en küçük kareler yöntemi uygulanmış ve döviz kuru, TÜFE ve M1 değişkenlerindeki bir değişimin BİST endeksini pozitif ve anlamlı bir şekilde etkilediği, faiz oranı ve dış ticaret dengesi değişkenlerindeki bir değişimin ise, BİST endeksini negatif ve anlamlı bir şekilde etkilediği, sanayi üretim endeksi değişkeninin BİST endeksi değişkenini etkilemediği belirlenmiştir.

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığı Johansen-Juselius eşbütünleşme testi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin farklı dereceden bütünleşik olmaları sebebiyle söz konusu yöntem, Engle-Granger İki Aşamalı Eşbütünleşme Testine tercih edilmiştir. Yapılan ikili eşbütünleşmelerde, BİST endeksi ile TÜFE, faiz oranı ve sanayi üretim endeksi değişkenleri arasında eşbütünleşme ilişkisine rastlandığı, BİST endeksi ile döviz kuru, dış ticaret dengesi ve M1 değişkenleri arasında ise, herhangi bir eşbütünleşme ilişkisine rastlanmadığı belirlenmiştir. Bu çerçevede, TÜFE, faiz oranı ve sanayi üretim endeksi değişkenleri ile BİST endeksi değişkeni arasında uzun dönemli bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir. Granger Nedensellik sınaması sonucunda ise, BİST endeksi ile döviz kuru ve M1

⁸⁷ YILMAZ, Ömer; GÜNGÖR, Bener; KAYA, Vedat, "Hisse Senedi Fiyatları ve Makroekonomik Değişkenler Arasındaki Eşbütünleşme ve Nedensellik", İMKB Dergisi, Yıl 9, Sayı 34, ss.1-16.

değişkenleri arasında çift yönlü bir nedenselliğin bulunduğu belirlenmiştir. Özetle, BİST endeksindeki bir değişimin döviz kuru ve M1'i etkilediği, aynı şekilde bu iki değişkendeki bir değişimin de BİST endeksini etkilediği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra çalışmada TÜFE ve faiz oranından BİST endeksine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Kısaca, TÜFE ve faiz oranındaki bir değişimin BİST endeksini etkilediği ancak bunun tersinin geçerli olmadığı bulunmuştur. Sanayi üretim endeksi ve dış ticaret dengesi değişkenleri ile BİST Endeksi arasında ise, herhangi bir nedensellik ilişkisinin mevcut olmadığı tespit edilmiştir.

Mumcu (2005) aylık verilerden hareketle Ocak 1990-Aralık 2004 dönemi için hisse senedi ve makroekonomik faktörler arasındaki ilişkiyi Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli ve Granger Nedensellik Testi kullanarak açıklamaya çalışmıştır⁸⁸. Çalışmada, BİST 100 Endeksi bağımlı, hazine bonusu faiz oranı, dolar kuru, para arzı (M2), sanayi üretim endeksi, enflasyon (TÜFE) ve Cumhuriyet altını fiyatları bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Değişkenlerin durağanlığı Genişletilmiş Dickey-Fuller testi ile incelenmiş ve TÜFE değişkeni dışında çalışmada yer alan diğer değişkenlerin durağan olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Durağanlığının sağlanabilmesi için değişkenlerin birinci farkları alınmış (TÜFE hariç) ve bütün değişkenlerin birinci farkı alınmış değerlerinin durağan olduğu belirlenmiştir.

Model sonucunda, dolar kurunda meydana gelen bir birimlik artışın BİST Endeksini 0,08 düzeyinde arttırdığı, hazine bonusu faiz oranlarında meydana gelen bir birimlik artışın BİST Endeksini 1,640 düzeyinde azalttığı, M2'de meydana gelen bir birimlik artışın BİST Endeksini 0,000049 düzeyinde arttırdığı, sanayi üretim endeksinde meydana gelen bir birimlik artışın BİST Endeksini 0,511 düzeyinde azalttığı, altın fiyatı ile TÜFE değişkenlerinin tek başına Endeksi açıklamakta %5 anlamlılık düzeyinde anlamsız oldukları tespit edilmiştir. Çalışmada, Granger Nedensellik testi sonucunda %5 anlamlılık düzeyinde BİST Endeksi ile altın fiyatları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu, BİST Endeksi ile TÜFE arasında nedensellik ilişkisinin olmadığı, BİST Endeksi ile sanayi üretim endeksi arasında nedensellik ilişkisinin olmadığı, BİST Endeksi ile dolar kuru arasında tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu ve ilişkinin yönünün BİST Endeksinden dolar kuruna doğru olduğu, BİST Endeksi ile hazine

⁸⁸ MUMCU Fatma, "Hisse Senedi Fiyatlarını Etkileyen Makroekonomik Faktörler: İMKB Üzerine Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2005.

bonosu faiz oranları arasında çift yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu, BİST Endeksi ile M2 arasında nedensellik ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen ve yukarıda özetlenen sonuçlara göre makroekonomik faktörlerdeki değişmelerin, hisse senedi fiyatlarındaki değişimi tam olarak açıklayamadığı, fakat hazine bonosu faiz oranı ile BİST Endeksi arasında negatif ilişkinin olmasının ve hazine bonosu faiz oranlarının BİST Endeksine etki eden en önemli değişken olmasının, uygulamayı anlamlı kıldığı ve sabit getirili ve risksiz bir yatırım aracı olan hazine bonosunun hisse senedi karşısında en önemli alternatif yatırım aracı olduğu belirlenmiştir.

Tuzcu (1999) BİST’te varlığı tespit edilen yüksek volatilité ile bazı finansal ve makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada, hisse senedi getirilerinde değişkenliğin ölçülmesinde, getirilerde olumlu ve olumsuz yönde aşırı hareketlerin görülme olasılığını özetlediği düşüncesinden hareketle standart sapma ölçütü kullanılmış ve BİST’te işlemlerin başladığı 1 Ocak 1986 tarihinden 31 Mart 1999 tarihine kadar geçen on üç yılı aşkın bir dönemde hisse senetlerinde görülen fiyat oynaklıkları analiz edilmiştir⁸⁹.

Söz konusu çalışmada, ekonomide yaşanan ciddi bir büyümenin hisse senetleri fiyatlarında meydana gelen yüksek kazancı açıklamakta önemli bir rol oynadığı, ancak tek bu gösterge yoluyla fiyatlardaki aşırı kayıp ve kazançların açıklanamayacağı, ekonomideki büyüme veya durgunluk ile hisse senetleri fiyatları arasındaki bu yakın ilişkinin şirketlerin satış ve dolayısıyla kâr rakamlarında meydana gelen artış veya azalışlarla açıklanabildiği, enflasyon rakamları ile hisse senedi getirisi arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığından bahsetmenin mümkün olmadığı, mevduat faizlerinde artışın olduğu 1988, 1989, 1991, 1993, 1994 yıllarında borsada durgunluğun; mevduat faizlerinde azalışın olduğu yıllarda ise, borsada bir canlanmanın dikkati çektiği, ancak diğer yıllarda bu iki değişken arasında ters yönlü bir ilişkiye rastlanmadığı, benzer bir durumun hazine bonoları faiz oranları için de geçerli olduğu, yalnızca 1989, 1991, 1992, 1994 ve 1998 yıllarında faiz getirileri ile hisse senedi getirileri arasında ters yönlü bir ilişkiye rastlandığı, ancak diğer yıllarda beklenen bu ters yönlü ilişkinin gerçekleşmediği, bu bağlamda faizdeki hareket ile hisse senedi getirileri arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığından söz etmenin mümkün olamadığı, hisse senetleri getirileri ile döviz cinsinden yatırım araçlarının getirileri arasında kuvvetli bir ilişkinin

⁸⁹ TUZCU, M. Arcan, “Hisse Senedi Fiyatlarını Etkileyen Faktörler ve İMKB’de Volatilité”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 1999.

varlığına rastlanmadığı, sonuç olarak; hisse senetlerinde görülen aşırı kayıp ve kazançları açıklama konusunda yalnızca GSMH'deki artış veya azalışların bir noktaya kadar açıklayıcı olabildiği, bunun dışında enflasyon ile döviz kuru, farklı vadeli mevduat faiz oranları ve hazine bonosu faiz oranları gibi farklı yatırım araçlarındaki değişimlerin, hisse senetlerindeki aşırı dalgalanmayı açıklama konusunda yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen bu sonuçlar, BİST'te volatilitenin makroekonomik ve finansal temellerinin çok zayıf olduğunu ortaya koyduğu, bu anlamda BİST'in diğer piyasalar ile yeterince eklemelenmemiş olduğu, bunun nedenin de büyük bir olasılıkla yeterince derinleşmemiş olan piyasanın spekülative ve manipülatif etkilere açık olmasının olduğu, başka bir deyişle, sağlam ve tutarlı sebeplere dayanmadan artan veya azalan fiyatlarda yaşanan yüksek volatilitiyi spekülative ve manipülatif hareketlerin doğurduğu, bunun da piyasanın uzun vadede sermaye kazancı ve kâr payı geliri elde etmek yerine kısa vadeli fiyat kazançları sağlamaya çalışan spekülative ve manipülatörlerin tekelinde olduğuna işaret etmekte olduğu vurgulanmıştır.

Ayrıca, çalışmada BİST'teki volatilitenin muhtemel sebepleri arasında siyasi iktidarsızlık, ekonomik ve mali piyasalarda istikrarsızlık, talep azlığı ve talep dengesizliği sorunu, şirketlerin halka açıklık oranlarının düşük olması, homojen nitelikte yatırımcı profili gibi etmenler sıralanmıştır.

Kanalıcı (1997) aylık veriler kullanmak suretiyle Kasım 1987-Eylül 1994 döneminde hisse senedi fiyatlarının tespitini ve buna tesir eden faktörleri araştırmıştır⁹⁰. Çalışmada faktörler ikiye ayrılmıştır. Endojen faktörler olarak (firma içi faktörler) tahmini şirket kazançları ve şirketin mali yapısındaki değişkenlikler tanımlanmıştır. Egzojen faktörler ise, faiz oranları, döviz kuru, para arzı, kurumlar vergisindeki değişiklikler, hükümet harcamalarındaki değişiklikler, GSMH ve fiyatlar genel seviyesi olarak belirlenmiştir. Teorik olarak, faiz oranlarında yaşanan bir artışın hisse senedi değerinde bir azalmaya, para arzında yaşanan bir genişlemenin toplam talebe etkisi nedeniyle hisse senetlerinin fiyatının artmasına, döviz kurunda bir artışın alternatif yatırım aracı olmasından dolayı hisse senedi fiyatında azalmaya, fiyatlar genel seviyesindeki kısa dönemli artışın hisse senetlerinin değerinde artışa, uzun süreli artışın faiz hadlerinde yükselme getireceği için düşmeye, GSMH'de yaşanan yükselmenin de

⁹⁰ KANALICI, Hülya, "Hisse Senedi Fiyatlarının Tespiti ve Tesir Eden Faktörler", Sermaye Piyasası Kurulu, Sayı 77, Ankara, 1997.

hükümet harcamalarında bir artış gibi tüketim talebini artırması nedeniyle hisse senedi fiyatlarının artmasına (arz elastikiyeti yoksa enflasyon ve faiz oranı artışına neden olur), kurumlar vergisinin artırılmasının ise, hisse senedi fiyatlarında düşüşe neden olacağı belirtilmiştir.

Durukan (1999) Türkiye’de hisse senedi getirisi ile enflasyon, ekonomik aktivite, faiz oranı, döviz kuru ve para arzı değişkenleri arasındaki ilişkiyi 1986-1998 dönemi için incelemiştir⁹¹. Çalışmada nominal, yüzde değişim ve doğal logaritma alınarak üç seri oluşturulmuştur. Bu üç modelle yapılan regresyon analizinin sonucunda, faiz oranı değişkeninin (aylık mevduata uygulanan faiz oranı) negatif katsayılı ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ekonomik aktivite değişkeni olarak seçilen sanayi üretim endeksi tek başına anlamlı sonuçlar vermiş, fakat döviz kuru, enflasyon ve para arzı değişkenleri ile beraber olduğunda çoklu doğrusal bağlantı olması nedeniyle iyi sonuç vermemiştir. Enflasyon verisi olarak alınan TÜFE hiç bir modelde açıklayıcı olmamıştır. Katsayıların işareti de kesin bir sonuca ulaşılamayacak şekilde belirsiz bulunmuştur. Döviz kuru değişkeni de aynı şekilde iyi sonuç vermemiş ve her modelde ayrı işaret almıştır. Para arzı değişkeni olarak modele katılan M1, M2 ve M2Y değişkenleri farklı işaretlere sahip olmuş, fakat istatistiksel olarak anlamlı olduğu denklemlerde negatif işaret almıştır. Çalışmanın sonucunda, BİST’in yarı güçlü etkin piyasa anlamında etkin olmadığı, spekülative ve sığ bir borsa olduğu belirlenmiştir.

Özçam (1997) 1986-1995 dönemi için sanayi üretim endeksi, TÜFE, üç yıllık hazine bonusu getirisi (aylığa çevrilerek kullanılmıştır), para arzı, bütçe dengesi, döviz kuru ve cari işlemler dengesi değişkenlerini kullanarak BİST bileşik endeksini açıklamaya çalışmıştır⁹². Çalışmada, bütün dönem dikkate alındığında makroekonomik faktörlerin hisse senedi getirisini açıklayıcı olmadığı, fakat bazı dönemlerde birkaç faktörün hisse senedi getirisini açıklama gücüne sahip olduğu belirlenmiştir. Örneğin, birçok dönemde sanayi üretim endeksi ve enflasyon ile hisse senedi getirisi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Para arzı da değişik işaretler almakla birlikte açıklayıcı değişken olarak modele girmeye başarmıştır. Bütçe rakamlarının da benzer bir şekilde negatif veya pozitif değer alabildiği belirlenmiştir. Birçok dönemde

⁹¹ DURUKAN, M. Banu, “İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Makroekonomik Değişkenlerin Hisse Senedi Fiyatlarına Etkisi”, İMKB Dergisi, 3, 11, Temmuz-Ağustos-Eylül 1999, ss.19-47.

⁹² ÖZÇAM, Mustafa, “An Analysis of the Macroeconomic Factors That Determine Stock Returns in Turkey”, Sermaye Piyasası Kurulu, Ankara, 1997.

kur verisi negatif ve güçlü bir ilişki göstermiştir. Makroekonomik değişkenlerin hisse senedi getirilerini açıklama gücünü gösteren R^2 bütün dönem için 0,14 olduğu tespit edilmiştir. Dönemlerin alt gruplara ayrılması sonucu yapılan hesaplamalarda ise, R^2 0,26 ile 0,52 arasında değerler almıştır.

BİST'in zayıf formda etkinliği üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Özellikle 1993-1997 yıllarında yapılan araştırmalarda BİST'in zayıf formda etkin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak 2000'li yıllardan itibaren yapılan az sayıdaki araştırmada BİST'in zayıf formda etkin olduğu, hatta bazı çalışmada kısa bir dönemde orta güçlü formda etkinliğin gözlemlendiği belirtilmiştir. Bazı araştırmalarda da Balaban (1995), Bildik (2000) teoriye uymayan, hisse senedi getirilerinin mevsimsel eğilim gösterdiği, bazı dönemlerde sürekli pozitif veya negatif getiriler sağladığı sonucuna varılmıştır.

Zayıf etkinlik konusunda Türkiye'de yapılan çalışmalarda; Bekçioğlu ve Ada (1985) serisel korelasyon analizi ve Run Testi, Alparlan (1989) seri korelasyon ve filtre testi, Öncel (1993) filtre testi, Köse (1993) filtre testi, Kıyılar (1996) serisel korelasyon, Run Testleri ve filtre kuralı testi, Kondak (1997) otokorelasyon testi, spektral analiz testi ve run testi, Metin, Muradoğlu ve Yazıcı (1997) rastgele yürüyüş hipotezi ve haftanın günleri etkisi, Özer (2001) otokorelasyon ve rastgelelik testleri, Keleş (2003) regresyon analizi tekniklerini uygulayarak BİST'te Endeks veya hisse senetlerinin Zayıf Formda Etkin olduğu hipotezini reddetmişlerdir. Bununla beraber; Cankurtaran (1989) serisel korelasyon, Kılıç (1997) Birim Kök, Buguk ve Brorsen (2003), Zengin ve Kurt (2004) ADF ve Peron Birim Kök, Tezeller (2004) Regresyon, serisel korelasyon ve Run testlerini uygulayarak BİST'in zayıf formda etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Muradoğlu ve Oktay (1993) zayıf etkinlik ve takvim anomalilerini sınımış, dünyada pek çok ülkede görülen hafta sonu ve yılbaşı etkisinin BİST için de geçerli olduğunu belirtmiştir. Bu etkilerle bazı yatırımcıların ekstra kâr elde etmelerinin mümkün olabileceği ancak, bu seyrin pek çok yatırımcı tarafından fark edilip buna göre strateji oluşturulabileceği ve ekstra kâr elde etme olasılığının ortadan kalkabileceği, sonuçta BİST'in zayıf etkin piyasa konumuna gelebileceğini vurgulamıştır.

Alper ve Aruoba (2001) çalışmalarında ise, geleneksel yöntemlerde Miladi takvime göre incelenen mevsimsel anomalilere ek olarak, tarihleri Hicri takvime göre belirlenen ve her yıl 11 gün geri gelen Ramazan ve dini bayramların etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, dini olayların sanayi üretim endeksi üzerinde iş kaybı

nedeniyle etkisinin olduğu; merkez bankasının bayram olan aylarda açık piyasa işlemleri ile piyasaya likidite sağladığı; Ramazan ayında devlet harcamalarının kayda değer şekilde arttığı görülmüştür. Ayrıca, dini olayların mevsimsel etkisi yok edildikten sonra, volatilitenin azaldığı ve serilerin ısrarlılığında artış gözlenmiştir*. Ayrıca, değişkenlerin, sanayi üretim endeksi ile çapraz korelasyonu incelendiğinde ise, mevsimselliğin göz ardı edilmesinin sonucu olarak belli bir kurala rastlanmamıştır⁹³.

Kıyılar ve Karakaş (2005) çalışmalarında BİST'teki anomalilikleri incelemiştir. 4 Ocak 1988 – 22 Nisan 2003 tarihleri arasındaki bu çalışmalarında BİST'in ana gösterge endeksi olan BİST100 endeksinin etkin pazar kuramına aykırı çalışan zamana dayalı anomaliler sergileyip sergilemediğini incelemişler ve endeksin Ocak ve Aralık aylarında diğer aylara göre istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde yüksek getiri sağladığı tespit edilmiştir. Haftanın günleri analizinde, Cuma ve Perşembe günlerinin diğer günlere göre anlamlı olarak yüksek, Pazartesi gününün ise düşük getiri sağladığı görülmüştür. Yılın ilk ve son üç işlem gününün, yılın ortalamasına göre son derece yüksek ortalama getirisi olduğu tespit edilmiştir. Tatil günlerinin uzunluğunun ortalama getiriye etkisi ise, anlamlı bulunmamıştır⁹⁴.

Eken ve Adalı (2006) çalışmalarında BİST'in klâsik Etkin Piyasa Hipotezi'ne göre zayıf formda etkin olup olmadığı araştırmışlar⁹⁵. 1 Ağustos 1994 – 31 Temmuz 2005 döneminde BİST30, BİST100, BİST Mali, BİST Sanayi endeksleri ile BİST30 Endeksine dâhil 10 adet hisse senedi getirilerine basit ve çoklu regresyon analizi uygulanarak test işlemi yapmışlardır. Elde edilen bulgular karışıktır. Araştırma sonuçları, uzun dönemde geçmiş fiyat bilgileri ile bugünün fiyat bilgileri arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişkinin bulunduğunu göstermekle beraber kısa dönemlerde, özellikle günümüze yaklaştıkça, bulunan sonuç aradaki ilişkinin azaldığı ya da kaybolduğu yönündedir. Bu ise, belirli dönemlerde belirli hisse senedi ve endeks değerleri için piyasanın zayıf formda etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, günlük ve haftalık verilerde pozitif ilişkinin bulunduğu uzun dönemlerde, bu ilişki çoğunlukla alım

* Israrlılık, bir makroekonomik değişkene uygulanan %1'lik şokun uzun dönemdeki etkisini olarak tanımlanabilir.

⁹³ ALPER, C. Emre; ARUOBA, S. Borağan, "Makroekonomik Verilerin Mevsimsellikten Arındırılması: Türkiye'deki Uygulamalı Araştırmacılara Dikkat Notu", İMKB Dergisi, Yıl 5, Sayı 18, Nisan-Mayıs-Haziran 2001, ss.31-50.

⁹⁴ KIYILAR, Murat; KARAKAŞ, Cem, "İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Zaman Dayalı Anomalilere Yönelik Bir İnceleme", Yönetim, Yıl 16, Sayı 52, Ekim 2005, ss.17-25.

⁹⁵ EKEN, Hasan; ADALI, Sait, "Piyasa Etkinliği ve İMKB: Zayıf Formda Etkinliğe İlişkin Ekonometrik Bir Analiz", Muhasebe ve Finansman Dergisi, Sayı 37, Ocak 2008.

satım komisyonlarını dahi karşılayamayacak kadar küçük olduğundan piyasa zayıf formda etkin olarak yorumlamışlardır.

Gayğusuz (2008) 23.10.1987 – 19.06.2007 tarihleri arasında BİST100 kapanış verileri ile yaptığı çalışmada ise, öncelikle BİST100 getirisi ve işlem hacmi serilerinin zaman serisi özellikleri incelenmiştir. Zaman serisinin durağanlık araştırması için birim kök testleri kullanılarak, testlerin sonucunda getiri ve işlem hacmi serilerinin yapısında birim kök olmadığı görülmüştür. Granger nedensellik testi sonucunda; BİST’te nedenselliğin yönünün hisse senedi getirilerinden işlem hacmine doğru olduğu tespit edilmiştir. Yani, getirilerin işlem hacminin bir nedeni olduğu bulunmuştur. Bu sonuç da, BİST hisse senedi piyasasında dağılımların karışımı hipotezinin aksine, bilginin sıralı varışı hipotezinin geçerli olduğunu ortaya koymaktadır⁹⁶.

Dağılımların karışımı hipotezinde belirtildiği gibi, BİST’te piyasaya ulaşan bilgiler piyasada anında yayılmamaktadır. Bu nedenle, işlem hacmi ve getirilerle ilgili nihaî dengeye anında ulaşamamaktadır. Aksine, bilginin sıralı varışı hipotezinin öngördüğü gibi piyasaya ulaşan bilgi sıralı bir şekilde yayılmaktadır. Bu nedenle, nihaî dengeden önce birçok ara denge gerçekleşmektedir. Etkin bir piyasada bilgi anında tüm piyasaya yayıldığından ve tek bir denge söz konusu olduğundan dolayı, elde edilen sonuçlar BİST’in etkin olmadığını da ortaya koyabilmektedir. Sonuç olarak, dağılımların karışımı hipotezinin geçerli olduğu piyasaların, bilginin sıralı varışı hipotezinin geçerli olduğu piyasalara göre daha etkin olduğunu söyleyebiliriz. BİST’te dağılımların karışımı hipotezinin geçerli olmamasının çok çeşitli nedenleri olabilir. İlk olarak, piyasada yer alan yatırımcıların büyük kısmının kısa vadeli yatırım yapmaları ve bekleyişlerin/inançların dağılımı hipotezinde de belirtildiği gibi spekülative ticaret yapmalarının teoriyi geçersiz hale getirdiğini söyleyebiliriz. Teorinin geçersizliğine ikinci bir neden olarak, piyasadaki yatırımcıların gerek piyasa gerekse piyasadaki şirketlerle ilgili yeteri kadar bilgiye sahip olamamaları ve ellerindeki bilgiyi de iyi değerlendirememeleri gösterilebilir. Bunun yanı sıra, gerek Türkiye’de yaşanan ekonomik krizlerin, gerekse siyasal ve politik belirsizliklerin Türk sermaye piyasasını olumsuz yönde etkilemesi sonucu piyasada aşırı tepki ve spekülative hareketlerin oluşması, teoriyi geçersiz kılacak bir diğer neden olarak ileri sürülebilir. Bunun yanı sıra, elde edilen nedensellik sonuçlarının vergiyle bağlı olmayan ticaret nedenini

⁹⁶ GAYĞUSUZ, Filiz, “Hisse Senedi Piyasalarında İşlem Hacmi – Volatilite İlişkisi ve İMKB’ye Ait Bir Uygulama”, Çukurova Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 2006.

oluşturan model ve gürültü (*noise*) ticaretçilerinin, ticaret modelini destekler nitelikte olduğunu da söyleyebiliriz. Bu nedenle, BİST'teki yatırımcıların büyük çoğunluğunun bilgiye dayalı ticaret yapan değil aksine, gürültü (*noise*) ticareti yapanlar olduğunu söylenebilir.

Ergül (2009) çalışmasında, BİST100, BİST050, BİST030, BİSTHİZ, BİSTMAL ve BİSTSIN Endeksleri'nin günlük kapanış verilerden oluşan zaman serilerinden yola çıkarak BİST'nin zayıf formda etkin bir piyasa olup olmadığı sorusuna Rastgele Yürüyüş Hipotezi çerçevesinde cevap aramıştır. Çalışmasında, piyasa etkinliği literatürü üzerine bir değerlendirme yaptıktan sonra oluşturulan zaman serileri durağanlık testine tabî tutulmuştur. BİST Hisse Senetleri Piyasası'nın geleneksel etkinlik analizinde ilk olarak fiyat serilerinin normal dağılım özelliği test edilmiş, daha sonra hisse senedi fiyat endekslerine ait zaman serilerinde birim kökün varlığı yani serilerin durağanlığı araştırılmıştır. Bu amaçla, Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) Birim Kök Testi ve Phillips-Perron (PP) Birim Kök Testi kullanılarak, BİST Ulusal Piyasası'nın zayıf formda etkinliği test edilmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre; tanımlayıcı istatistikler dikkate alındığında endeks serilerin normal dağılım özelliği göstermediği, serilerin grafikleri üzerinden bir değerlendirme yapıldığında ise serilerin durağan olmadığı tespit edilmiştir. Daha sonra, birim kök testlerinden ADF testi ile PP testi birbirini destekleyici yönde sonuçlar ürettiği için endeks serilerinin birim köke sahip olduğu ve serilerin durağan olmadığı yargısına varılmıştır. Analiz sonuçları, BİST100 Bileşik Endeksi, BİST Ulusal 50 Endeksi, BİST Ulusal 30 Endeksi, BİST Hizmet Endeksi, BİST Mali Endeks ve BİST Sınâî Endeksi'ne ait fiyat serilerinin rastgele bir değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen tüm sonuçlar; analiz dönemi içerisinde BİST'in zayıf formda etkin bir piyasa olduğunu ve fiyat değişimlerinin rastgele ve birbirinden bağımsız oluştuğunu göstermektedir⁹⁷.

Gençtürk (2009), kriz dönemlerinde makroekonomik faktörlerin hisse senetleri fiyatlarına etkisini incelemiştir. Çalışmasında, 1992-2006 aralığını kriz yaşanan dönem ve kriz yaşanmayan dönem olarak ikiye ayırmış ve bu dönemlerdeki verileri ayrı ayrı kullanarak çoklu regresyon analizi yapmıştır. Araştırma sonucunda, kriz dönemlerinde BİST endeksini etkileyen makroekonomik değişkenler tüketici fiyat endeksi ile para arzı olarak çıkmıştır. TÜFE ve M2 ile endeks arasında anlamlı ilişki sırasıyla %5 ve %10

⁹⁷ ERGÜL, Nuray; "Ulusal Hisse Senetleri Piyasası'nda Etkinlik", Yönetim Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2009.

düzeyinde çıkmıştır. Hisse senedi fiyatları ile tüketici fiyat endeksi (TÜFE) arasında negatif yönde, para arzı (M2) arasında ise pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Kriz yaşanan dönemlerde, tüketici fiyat endeksindeki bir birimlik artış, BİST endeksini 2,270 birim azaltmaktadır. Bu anlamlı bir sonuçtur. Çünkü, kriz dönemlerinde aşırı yükselen tüketici fiyat endeksi, hisse senedi fiyatları üzerinde normal dönemlere göre ters yönde ve azaltıcı bir etki oluşturabilmektedir. Para arzı ile endeks arasındaki ilişki diğer dönemlerde olduğu gibi pozitif yönde olmuştur. Fakat krizin etkisiyle bu etki oldukça düşük düzeyde kalmıştır. Bu dönemde tüketici fiyat endeksi ve para arzı dışındaki makroekonomik değişkenler ile BİST endeksi arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Krizlerin yaşanmadığı dönemde ise, uygulamaya sokulan makroekonomik faktörlerin tamamı ile endeks arasında anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Bu değişkenlerden sanayi üretim endeksi % 10 anlamlılık düzeyinde, tüketici fiyat endeksi % 5 anlamlılık düzeyinde, altın, dolar, para arzı ve hazine bonusu faiz oranı % 1 anlamlılık düzeyinde anlamlı çıkmıştır. Bu dönemde altın, tüketici fiyat endeksi ve para arzı ile endeks arasında pozitif yönlü, sanayi üretim endeksi, dolar ve hazine bonusu faiz oranları ile endeks arasında negatif yönlü ilişki bulunmuştur⁹⁸.

Akal, Birgili ve Durmuşkaya (2012) çalışmalarında Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası'nda işlem gören BİST30, BİST100, DOLAR ve AVRO döviz kuru piyasalarının etkin olup olmadığını test etmişlerdir⁹⁹. Çalışmalarında, literatürde mevcut bulunan, tek bir seri üzerinden yapılan birim kök testine alternatif testler geliştirerek, gerek spot ve futures tekil fiyat serilerine uygulanan otokorelasyon, normal dağılım, Run Testleri; gerekse spot ve futures fiyat farkı serilerine uygulanan otokorelasyon, normal dağılım, Run Testleri ile Uyarlanmış Satın Alma Gücü Paritesi Regresyon testleri, seride birim kökün varlığında “piyasaların etkin olduğu” hipotezinin kabulünün yeterli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Tekil spot serisi üzerinden yapılan otokorelasyon, Run ve normal dağılım test sonuçları, birim kökün varlığında etkin piyasalar hipotezinin kabulü desteklememiştir. Günümüzde önemi giderek artan türev piyasaların etkin olarak işlemesi yatırımcılar açısından bir güven unsurudur. Güvenli piyasalarda yatırımcılar daha rahat bir şekilde yatırımlarına yön verir ve analizlerini

⁹⁸ GENÇTÜRK, Mehmet, “Finansal kriz dönemlerinde makroekonomik faktörlerin hisse senedi fiyatlarına etkisi”, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 1, 2009, ss.127-136.

⁹⁹ AKAL, Mustafa; BİRGİLİ, Erhan; DURMUSKAYA, Sedat, “İMKB30, İMKB100, Dolar, Avro, Future Piyasalarının Etkinliği Testi”, Business Economic Research Journal, Cilt 3, No 4, 2012, ss.1-20.

daha doğru bir şekilde yaparlarken, etkin piyasalar yabancı portföy yatırımlarını çekici, yurt içi tasarrufları artırıcı, uluslar arası sermaye hareketlerini artırıcı, finansal kaynakların optimal dağılımını sağlayıcı rol oynarlar.

BİST üzerine yapılmış kapsamlı bir spektral analiz çalışmasına rastlanmamıştır. Sadece, Erigüç (1995) yaptığı çalışmada, Ege Gübre, Bağfaş ve Adana Gübre şirketlerinin 18.09.1990 – 31.10.1994 (1024 veri), Tüpraş'ın ise 03.06.1991 – 31.10.1994 (854 veri) tarihleri aralığındaki hisse senetlerini spektral ve çapraz spektral analiz yöntemiyle incelemiştir. Spektral analiz hem nominal, hem de reel hisse senedi fiyatlarına uygulanmıştır. Reel hisse senedi fiyatları, 1987 yılını temel alan TÜİK tüketici fiyat endeksine göre hesaplanmıştır. İncelenen tarih aralığı içinde, Irak-Kuveyt savaşı ve 1994 ekonomik krizi dönemleri yer almış ve bu dönemlerde hisse senetlerin farklı hareketi; toplam verinin ve veri aralığının da kısa bir süreye sahip olması spektral analizin etkin olarak yapılmasını engellemiştir¹⁰⁰.

Çalışmanın ilk bölümünde, verilerin periyodogram analizi yapılmış, verilerin ortalaması verilerden çıkarılarak durağanlık şartı sağlanmıştır. Ham verinin logaritmik ölçekteki spektrumu fazla miktarda yan tepe noktası oluşturduğu için, Hamming, Blacmkan ve Hanning pencereleri kullanılarak daha anlamlı bir grafik elde edilmiştir. Bu filtreler yardımıyla, sızıntılar da azaltılmış ve sonuç grafik diğer ekonomik zaman serilerinde olduğu gibi, spektrum düşük frekanslarda yoğunlaşmıştır. Sonuç olarak da, Ege Gübre, Bağfaş ve Adana Gübre için 1024/12 – 1024/14 periyot aralığında, Tüpraş için ise 512/8 periyotunda spektrum elde edilmiştir.

Aynı süreç, reel hisse senedi fiyatlarına uygulandığında aynı sonuçlar elde edilmiş, sadece Körfez Savaşı dönemi nedeniyle önemsiz farklılıklar oluşmuştur.

Verilerin çapraz spektra analizinde ise, tüm hisse senetlerinin serileri borsa endeksine göre uyumu ve fazı hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, endeksin periyodu ile Ege Gübre, Bağfaş ve Adana Gübre hisse senetleri arasında güçlü bir uyum olduğu belirlenmiştir. Tüpraş ile endeks arasında daha zayıf bir uyum gözlemlenmiştir. Hisseler tek tek incelendiğinde ise, Ege Gübre hisse senetlerinin uyumu yüksek frekanslarda pozitif faz farkı, düşük frekanslarda negatif faz farkı ve nihayet çok düşük frekanslarda yine pozitif faz farkı ile çakışmaktadır. Bağfaş hisse senetleri için ise, yüksek

¹⁰⁰ ERİGÜÇ, Cüneyt Altan, "Application of Spectral and Cross-Spectral Analysis to Istanbul Stok Exchange Market", Thesis, Bilkent University, Department of Economics and the Institute of Economics and Social Sciences, Ankara, 1995.

frekanslarda daha fazla negatif faz farkı oluşurken, düşük frekanslarda pozitif faz farkı bulunmuştur. Adana Gübre hisse senetlerinin de faz farkı ve uyum grafikleri üst üste gelmiştir ve alçak frekanslarda pozitif faz farkıyla çakışmaktadır; bu durum Adana Gübre ile endeks arasında pozitif gecikmenin olduğunu göstermektedir.

Çalışma sonucunda, fiyat hareketleri ile ilgili herhangi bir bilginin hemen değerlendirildiği, bu nedenle frekans, uyum ve faz farkının hisse senedi yatırımcıları için çok önemli olabileceği belirlenmiştir. Spektral ve çapraz spektral analiz yardımıyla bu değerler doğru olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca, eğer analizde 1024 adet veri yerine, 4096 (12 yıllık) adet veri kullanılsaydı hisse senetlerindeki mevsimsel dalgalanmalar da spektral analiz yöntemiyle bulunabilirdi.

İKİNCİ BÖLÜM

SPEKTRAL ANALİZ

2.1. ZAMAN SERİLERİ

Dünya, zamanla değişen pek çok olayı içerir. Bu olayların bazı özelliklerini ölçen veriler, artan zamana göre dizildiklerinde zaman serilerini oluştururlar. Saat başı ölçülen sıcaklık değerleri, aylık yağış miktarı, günlük hisse senedi kapanış fiyatları veya haftalık doğum oranları zaman serilerine örnek olarak verilebilir. Bu örnekler, ölçümlerin genellikle eşit olan belli zaman aralıklarıyla yapıldığından ($t=1,2,\dots,n$) ayrık (*discrete*) zaman serileri olarak adlandırılır. Bu tür seriler deniz bilimi, hava bilimi, tıp, jeofizik yanında, ekonomi, finans ve yönetim bilimlerinde de kullanılırlar. Araştırmacılar, uzun yıllar zaman serileri verilerinin çok önemli olmadıklarını düşünmüşler ve genellikle, klâsik ekonometrik analiz yöntemlerini kullanan ekonometriciler, başlangıçta zaman serilerinin yalnızca ekonomik verilere uygulanabileceğini savunmuşlardır. Ancak, zamanla, trend ve mevsimsel hareketlerle ilgili çalışmalar, Durbin-Watson istatistikleri, birinci dereceden serisel korelasyon gibi uygulamalar yapılmıştır. Yetmişli yıllardan sonra ise, zaman serileri, ekonometrik uygulamalarda daha önemli bir yer edinmiştir¹⁰¹.

Zaman serilerinin diğer bir türü olan sürekli zaman serilerinde ise ölçümler sürekli yapılıdır. Örneğin, sıcaklık değerini sürekli olarak okuyup kayıt edersek de, her an kayıt altında olduğundan sürekli zaman serileri elde ederiz. Elektrik mühendisleri sürekli zaman serileri ile uğraştıkları halde, ekonomi, finans gibi sosyal bilimlerde bu tür sürekliliği sağlamak çok mümkün değildir. Aslında, mümkün değildi demek daha doğru olur; zira bugünün teknolojisi ile artık anlık ölçüm, analiz, değerlendirme ve hatta yorum yapmanın maliyeti kabul edilebilir seviyelere gerilemiştir.

Elektrik mühendisliği gibi fizik bilimindeki deneyimsel sonuçlar ile teoriler arasındaki etkileşim zaman serileriyle ilgili çalışmaları hızlandırmış, bu çalışmaların sonuçları da aynı teorilerin ekonomi biliminde kullanılmasını desteklemiştir. Özellikle, telekomünikasyon sistemlerinde kullanılan teoriler, 1960'lı yıllardan sonra zaman

¹⁰¹ GRANGER, Clive W. J.; WATSON, Mark W., "Time Series and Spectral Methods in Econometrics – Handbook of Econometrics", Cilt II, Elsevier Science Publisher BV., Amsterdam, 1984, s.980.

serilerinin ekonomik veriler üzerinde de etkin ve verimli kullanılabilmesinin yolunu açmıştır.

Zaman serileri, anlık kayıt edilen seriler ve biriken seriler olarak da ikiye ayrılırlar. Fiyatlar, faiz oranları, hisse senedi fiyatları gibi veriler anlık kayıt edilen ekonomik verilerdir. Üretim verisi, milli gelir, transfer hacimleri gibi veriler ise, biriken sınıftaki ekonomik verilerdir.

Zaman serilerinin daha ince ayrımı ise, verilerin ekonomi genelinde ne kadar etkili olacağıyla ilgilidir. Temel ekonomik büyüklükleri etkilemeyen değişkenler mikroekonomik değişkenler olarak adlandırılırken, mikroekonomik değişken olmayanlar da makroekonomik değişkenler olarak adlandırılırlar. Tek değişkenli serilerin analizinde bu ayrım çok önemli olmamakla beraber, seriler arasındaki ilişki ve nedenselliğin yönü söz konusu olduğunda, bu ayrım çok değişkenli analizlerde önemli bir faktör olmaktadır.

Ayrıca, durağan ve durağan olmayan serilerin ayrımı zaman serileri için önemli bir sınıflandırma olmakla beraber, ekonomi zaman serilerinde tamamıyla durağan seri bulmak olanaksız olacağı için bu ayrım çalışmamızda çok önemli değildir¹⁰².

Açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, günlük hayatta kullanılan ve hız, sıcaklık, yağış miktarı, nüfus; farklı bilim dallarında kullanılan beyin dalgaları, kalp basıncı, kalp ritmi, elektrik dalgaları, su debisi, güneş lekesi vb. zaman serileri ile ekonomik analizlerde kullanılacak ekonometrik zaman serileri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ekonomik zaman serileriyle yapılan yaygın uygulama, zaman serilerini oluşturan hareketlerin trend, döngüsel, mevsimsel ve düzensiz bileşen sınıflarından oluştuğu yönündedir. Lord Stanley'in (1856) de bu konudaki görüşleri önemli bir kaynaktır:

Bu konunun (istatistik) temelindeki mantık, doğanın temelindeki kanunlar ve özellikle insan ırkının ahlaki ve fiziksel durumunu düzenleyenler, çok sayıdaki bireysel vakaların incelenip karşılaştırılması ile her koşulda en iyi şekilde keşfedilebilir ve sabittir – bazı durumlarda ise sadece keşfedilebilir. Bireysel insanla ilgili her şey belirsizdir; toplamda ise insan ile ilgili olarak sonuçlar, matematiksel eşitliğin hassasiyet ve doğruluğu ile hesaplanabilir...

Böylece, bundan sonra, bir bilim olarak istatistiğin ilk özelliği: kayıt edilmiş gerçeklerin birikimi ve karşılaştırılması ile ilerler: - tek başına bu gerçekleri,

¹⁰² GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.12-13.

*uygun olarak sınıflandırılmış olanları, genel ilkeleri ortaya koymak için ve daha önceki mantıkları ve kullanılan hipotezleri reddederek, hiç değilse, sadece geçici bir şekilde ve doğrulamaya tabi olarak*¹⁰³.

Ekonomik zaman serileri ile ilgili çalışmalar genellikle, astronomi alanında yapılanları temel alarak başlamıştır. 18nci ve 19ncu yy.'larda Laplace, Euler ve Lagrange, Jupiter, Saturn ve diğer gezegenlerdeki dögüsel hareketleri incelemişlerdir. Bu incelemeler ayrıca, Newton'un yerçekimi teorisine de temel oluşturmuştur. Bu arada, gezegenlerin dögüsel hareketlerinin de zamanla değişim gösterdiği bilim insanları tarafından incelenmiş, dünyanın dönüşündeki kısa süreli değişimlerin, katı dünya ile okyanuslar, atmosfer ve sıvı çekirdek arasındaki atalet momenti ve açısız momentumun değişimi nedeniyle oluştuğu kuramlaştırılmıştır. Ekonometri ile ilgili çalışmalarına başladığında, Cournot (1838) "astronomide olduğu gibi, dögüsel değişimlerden bağımsız olan sürekli değişimleri fark etmek gerekir" demiştir¹⁰⁴. Jevons (1884) de kısa süreli dalgalanmalar ilgili çalışmalarında astronomi ve meteoroloji yöntemlerini kullanmıştır¹⁰⁵. Astronomi ve meteorolojide kullanılan bu yöntemler, gözlemlenen olaylardan doğa kanunlarının oluşturulmasını sağlamış ve bu kurallar ile, gözlemlenmeyen olaylar ve gelecek olaylar da tahmin edilebilmiştir. Bu kurallar daha sonra ekonometrinin de geliştirilmesinde kullanılmıştır. Aslında, ekonomi alanında yapılan pek çok çalışmanın sahibi meteoroloji uzmanı kişilerdir. Sir William Petty (1899), Charles Babbage (1856), William Stanley Jevons (1884) ekonomik zaman serileri üzerine çalışmış meteoroloji bilim insanlarıdır. Hatta Jevons, günlük, haftalık, aylık, üç aylık ve yıllık dalgalanmaların sadece tespitinin değil, bu verilerin ayrıştırılarak kalan düzensiz ve dönemsel olmayan (*non-periodic*) olan dalgalanmaların daha doğru olarak tespitinin, muhtemelen daha ilgi çekici ve önemli olacağını belirtmiştir¹⁰⁶. Jevons'un bu düşünceleri bugün de, zaman serileri ve ilgili ileri analizlerde halen geçerliliğini korumakta ve yapılan çalışmalar aynı temel düşünce üzerine geliştirilmektedir.

¹⁰³ STANLEY, Lord, "Presidential address o the British Association for the Advancement of Science", Statistical Journal, 1856, s.305.

¹⁰⁴ COURNOT, Augustin, "Researches into the Mathematical Principle of the Theory of Wealth", Macmillan, New York, 1897, s.25.

¹⁰⁵ JEVONS, W. Stanley, "Investigation in Currency and Finance", Macmillan, Londra, 1884, s.4.

¹⁰⁶ JEVONS, W. Stanley, age., s.4.

2.1.2. Zaman Serileri İle İlgili Genel Kavramlar

Zaman serileri, doğanın ve insan yaşantısının tüm aktivitelerinin temellinde bulunmaktadır. Zaman, fiziksel bir kavram olduğu için zaman serileri ile oluşturulan matematik modellerin tüm parametre ve değerleri gerçek dünyada yorumlanabilir. Zaman serileri bilimsel araştırmaların da temelini oluşturmaktadır. Sirkadiyen ritimler, mevsimsel davranışlar, trendler, değişimler ve gelişimsel davranışlar kolayca araştırılıp anlaşılabilir. Bilimsel sorunlar, zaman serileri kavramı ile formüle edilerek, tahmin edilen değer, önde giden değer, geri kalmış değer, geçici bağlantılar, otokorelasyon, mevsimsel etki, yeni olgular, kontrol değeri, periyod, değişim, trend, gizli periyod, devir ve döngüler şeklindeki parametreler ve fonksiyonlar ile kolaylıkla çözülebilir.

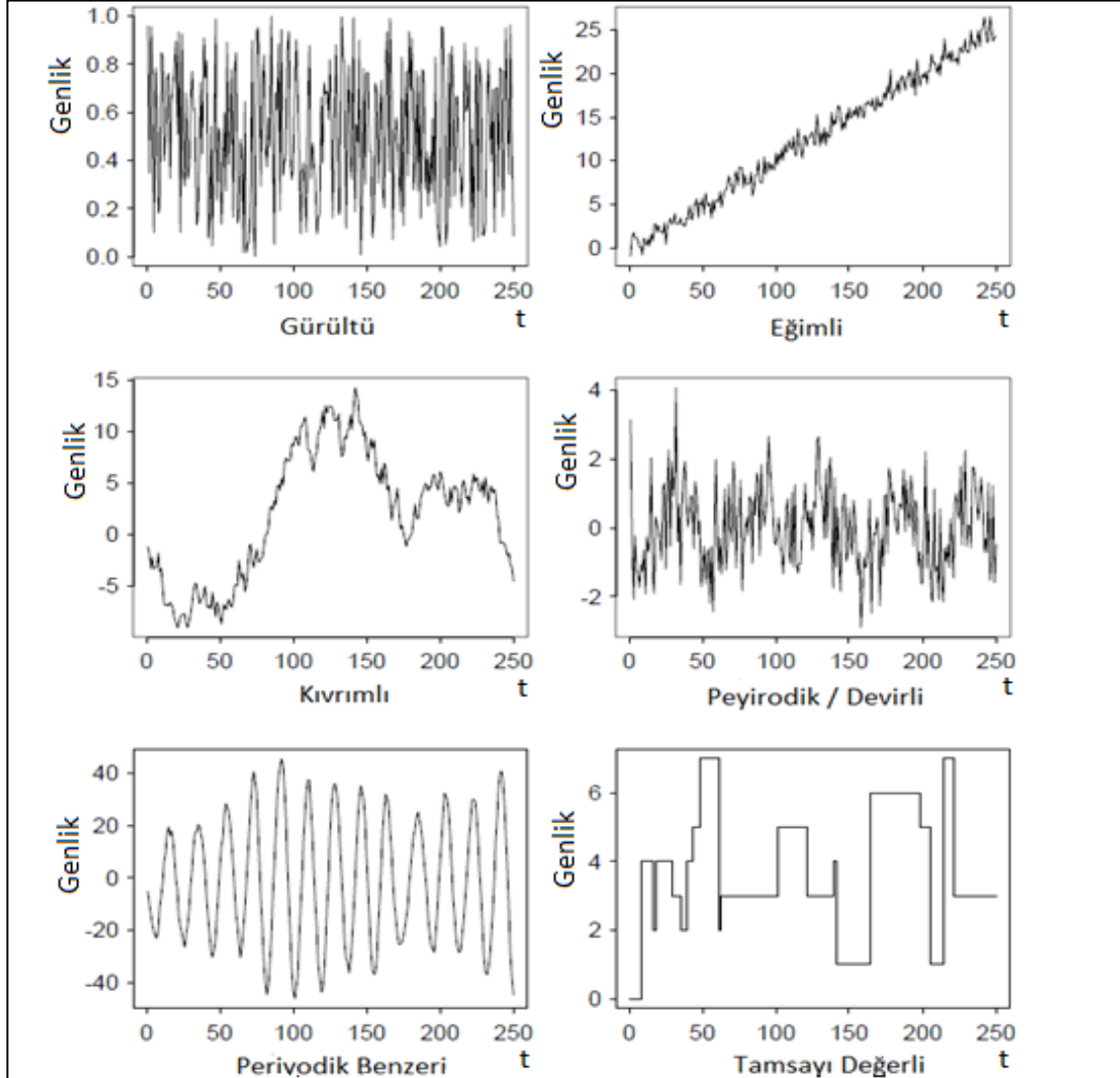
Zaman serileri bir zaman ve benzeri bir ölçek üzerinde sıralanmış değerler olarak tanımlanabilir. Temel veri ve parametreler fonksiyonları oluşturur. Zaman serileri çok değişik şekil ve formlarda oluşabilirler. Bu formlar, gürültü, eğilimli, kısırlı, tamsayı değerli veya periyodik şekiller gösterebilir. Şekil 2.1.'de bazı zaman serileri görsel olarak verilmiştir. Farklı zaman serileri eşzamanlı olarak da hareket edebilir ve aralarındaki ilişkiler önemli bilgiler ifade edebilir.

Zaman (t) indeksi taşıyan rasgele değişkenlerin oluşturduğu diziye (*sequence*) stokastik süreç ya da zaman serisi süreci adı verilir. Stokastik sözcüğü rastgele (*random*) ile aynı anlamda kullanılmaktadır¹⁰⁷. Zaman serisi analizinin amacı ise, zaman içinde olaylarda, doğal veya başka şekillerde oluşan kalıpları incelemektir.

Eşit zaman aralıklarıyla elde edilen gözlemler x_t , aylık işsizlik, yıllık üretim, günlük gazete satışı gibi değerler olabilir. x_t bir vektördür. Ele alınan bu gözlemlerden teorik stokastik X_t süreci dağılım fonksiyonu yardımıyla tanımlanabilir. Zaman serileri analizinin temel amacı, gözlemlenen x_t serilerini kullanarak rastgele değişken X_t 'nin gözlemlenmeyen teorik sürecini tanımlamaktır. Zaman serilerinin bu özelliğinin, klâsik istatistikteki yığın ve örnekle olan benzerliği dikkat çekicidir. Bununla beraber, zaman serilerine zamanın eklenmesi ve zamanın tek bir yönde akması, zaman serilerine özel bir yapı kazandırır ve bu özelliğin kullanılması önemlidir. t anında, serinin bir

¹⁰⁷ WOOLDRIDGE, Jeffrey. M., "Introductory Econometrics A Modern Approach", 2nci Baskı, Thomson Learning, Mason, 2002, s.25.

sonraki değerinin ne olacağı sorulabilir. Burada cevap, verilen x_{t-j} , $j \geq 0$ dağılım fonksiyonu ile x_{t+1} 'in bulunmasıdır¹⁰⁸.



Şekil 2.1: Çeşitli Zaman Serileri Türleri

Ekonomik, sosyal, psikolojik vb. gibi çeşitli nedenlerin, zamanla ilişkili değişkenler üzerindeki etkisi, yön ve şiddetinin farklı olması nedeniyle, zaman serisi gözlem değerlerinde bazı değişmeler gözlenir. Bu değişmeler, zaman serilerini etkileyen faktörler ya da bileşenler olarak ifade edilirler ve Trend Bileşeni, Mevsimsel Bileşen, Konjonktür Bileşen ve Rastgele Bileşen olarak isimlendirilirler. Zaman serileri, bu

¹⁰⁸ GRANGER, Clive W. J.; WATSON, Mark W, "Time Series and Spectral Methods in Econometrics-Handbok of Econometrics", Cilt II, Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam, 1984, s.980.

değişmeler nedeniyle çözümlenmeden bir anlam ifade etmezler. En basit anlamda, zaman serisi çözümlenmesi serinin özelliklerini açıklamaktır. Zaman serileri ile ilgili verimli çalışma yapabilmek için, zaman serisinin hangi bileşenlerin etkisi altında olduğunu belirlemek ve bu bileşenlerin etkilerini tahmin etmek gerekir. Zaman serileriyle kurulacak matematiksel model yanında, seriyi etkileyen bileşenlerin etkilerinin tahmin edilmesi ve hesaplanan tahminlerden yararlanarak, serinin gelecek dönemlerine ilişkin öngörü de yapılabilir.

Zaman serilerinin teorik ve uygulama olmak üzere iki tarafı vardır. Öncelikli olan teorik taraf temsil, tahmin, bilgi ve limit teorilerini; uygulama tarafı ise, genellikle istatistiğin teknikleri olan regresyon, varyans analizi, çok değişkenli analiz ve örnekleme içerir. Bu alan “beyaz gürültü”, “cepstrum”, “Otoregresif Hareketli Ortalama (*Autoregressive Moving Average – ARMA*)” ve “ARCH” gibi terim ve kısaltmalarla bilinmektedir¹⁰⁹.

Zaman serisi verilerinin özelliklerinin incelenmesi yoluyla aşağıdakiler elde edilebilir¹¹⁰;

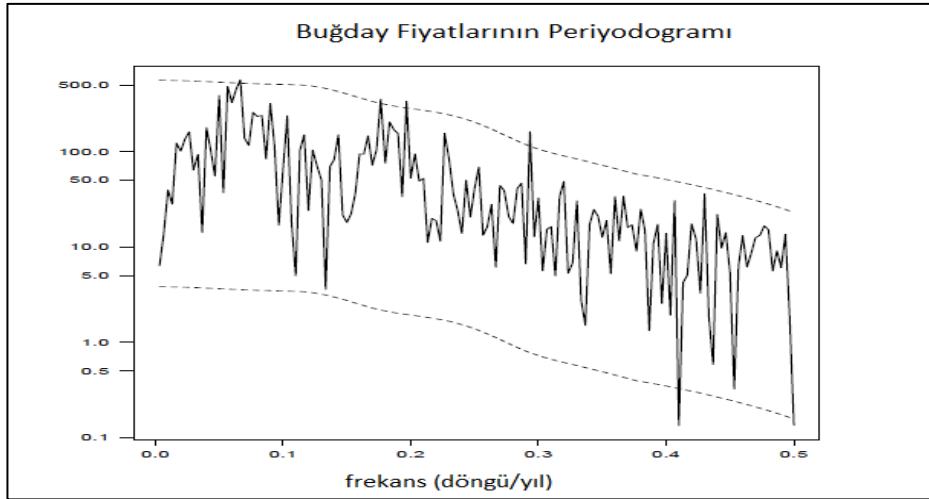
- i. Daha iyi modelleme,
- ii. Daha etkin hesaplama,
- iii. Eldeki veriler, kullanılan modelleme teknikleri ve ilgili iktisat teorisi arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılması.

Zaman serilerinin, fizik ve sosyal bilimlerinde önemli bir yeri vardır. Bu alanlarda Thiele, Hooker, Einstein, Wiener, Yule, Fisher, Tukey, Whittle ve Bartlett’in çalışmaları kayda değer çalışmalardır. Moore’un ve Davis’in sosyal bilimlerde alanındaki kitapları da etkileyici eserlerdir. Beveridge (1920) 1500-1869 yılları arasındaki buğday fiyat endeksini 19 periyod olarak hazırlamıştır¹¹¹. O zamanlar için önemli olan bu çalışma, günümüz istatistik biliminin teknikleri ile anlamsız olarak bile yorumlanabilmektedir. Şekil 2.2.’de görülen bu çalışmada, merkezi eğrinin etrafındaki %95’lik hata sınırları, kesik çizgilerle belirtilmiştir.

¹⁰⁹ GRANGER, Clive W.J., “Acronyms in Time Series Analysis”, *Journal of Time Series Analysis*, Cilt 2, Mart 1982, ss.103-108.

¹¹⁰ MILLS, Terence C., “Time Series Techniques for Economics”, Cambridge University Press, Cambridge, 1991, s.5.

¹¹¹ BEVERIDGE, William H., “Wheat Prices and Rainfall in Western Europe”, *J. Royal Statistical Society*, Cilt 85, 1922, ss.412-459.



Şekil 2.2: Buğday Fiyatları Periyodogramı

Kaynak: BEVERIDGE, William H., “Wheat Prices and Rainfall in Western Europe”, J. Royal Statistical Society, Cilt 85, 1922, ss.412-459

Bugünün çalışmalarında ise, mevsimsel düzeltmeler, öncü ve gecikmeli göstergeler ve endeks sayıları problemlerin çözümlerindeki önemli kavramlardır. Diğer bir deyişle, zaman serileri ile ilgili değerler dizisi (*paradigma*) en basit şekli aşağıdaki temel formüller ile gösterilmektedir.

$$seriler = sinyal + gürültü \quad (2.1)$$

$$seriler = trend + mevsimsellik + gürültü \quad (2.2)$$

$$seriler = kosinüsler toplamı + gürültü \quad (2.3)$$

$$seriler = regresyon fonksiyonu + gürültü \quad (2.4)$$

Bu kavramlar tahmin, mevsimsellik düzeltmesi ve benzer konularda tanımlama yapmak için kullanılmaktadır. 1950 ve 1960’lı yıllarda ise “adi en küçük kareler” yöntemi Grenander ve Rosenblatt tarafından kullanılmıştır¹¹². Bu yıllarda zaman serilerine önemli katkıları olan bilim insanları Blacman ve Tukey; Granger ve Hatanaka; Box ve Jenkins; Akaike; Hannan ve Parzen’dir. 1950’lerden başlayarak bugüne kadar devam eden önemli gelişme ise, geri dönüşlü hesaplama “*recursive computation*” tekniğinin kullanıldığı durum uzay modeli “*state space model*”dir. Bu çalışmanın önde gelen temsilcileri ise Kalman; Harvey; Shumway ve Stoffer ile Durbin ve Koopmans’dır.

¹¹² GRENANDER, Ulf; ROSENBLATT, Murray, “Statistical Analysis of Stationary Time Series”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.

Zaman serilerini konu alan pek çok çalışmada, serilerin gözlem değerlerinin eşit aralıklı zaman noktalarında elde edilmiş olduğu görülmektedir. Eşit aralıklı zaman noktaları (başka bir ifadeyle zaman değişkeninin şıkları), günler (günlük hava sıcaklığında olduğu gibi), aylar (aylık satış miktarlarında olduğu gibi) ve yıllar (yıllık ihracat tutarlarında olduğu gibi) olabilir. Zaman serisi çözümlemelerinde zaman değişkeninin şıkları genellikle $t = 1, 2, \dots, n$ ile ifade edilmektedir. Buna göre bir zaman serisi, eşit ağırlıkta $t = 1, 2, \dots, n$ zaman noktalarında Y değişkeniyle ilgili elde edilen $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_n$ gözlem değerlerini zamana göre sıralanmış olarak gösteren seri olarak tanımlanır. Zaman serileri iki şekilde oluşturulur:

- İlgilenen zamana bağlı değişkenin belirlenen zaman aralıkları itibariyle almış olduğu değerlerin toplamı veya ortalaması alınarak,
- İlgilenen zamana bağlı değişkenin belirlenen eşit zaman aralıklarında bir tek ölçümü yapılarak.

Günümüzde yapılan analizlerde, zaman serilerinin temel bileşenleri olarak trend, mevsimsel değişimler, konjonktür değişimler ve rastgele değişimler kabul edilmektedir. Bu durumda seriler şu şekilde ifade edilebilir;

$$\text{seriler} = \text{trend} + \text{mevsimsellik} + \text{konjonktürel} + \text{rassal} \quad (2.5)$$

Zaman serilerinin uzun dönem eğilimine trend; mevsimin zaman serileri üzerindeki etkilerine mevsimlik dalgalanmalar; ekonominin gelen durumu ile ilgili etkilere konjonktür dalgalanmalar ve doğal, ekonomik veya siyasi nedenlerden ortaya çıkan ve ne zaman meydana geleceği belli olmayan tesadüfi hareketlere de rastgele dalgalanmalar adı verilir. Bu modelde, zaman serisinin herhangi bir t anındaki değerinin, bu dört unsurun çarpımından ileri geldiği varsayılır. İlk üç unsur zaman serisinin sistematik bileşenlerini, sonuncusu ise sistematik olmayan tesadüfi kısmı oluşturur (Özoğuz, 1986).

Zaman serilerini oluşturmanın ilk amacı; zaman serisi gözlem değerleri üzerindeki rastgele değişimlerin yanında diğer zaman serisi bileşenlerinden hangilerinin etkili olduğunun belirlenmesidir. İkinci ve daha önemli olan amaç ise, öngörü yapılmasıdır. Zaman serisi gözlem değerleri arasında iç bağımlılığın var olması ve serideki değişimlere neden olan etkilerin gelecekte de aynı şekilde devam edeceği

varsayımıyla, bir zaman serisinin geçmiş dönem gözlem değerlerini kullanarak, gelecek dönem öngörü değerlerini elde etmektir. Bu amaçlara ulaşmak için, bu unsurları birbirinden ayırmak suretiyle, seriyi oluşturan olayın gerçek yapısını tespit etmek gerekir.

Ancak, belirtmek gerekir ki, serinin dört unsurdan meydana gelmesi, bunların birbirinden bağımsız faktörlerin etkisi altında olduğu anlamını taşımaz. Zaman serisi unsurları birbirlerine bağlı ve karşılıklı ilişki içindedirler. Bu nedenle, seriyi – birbirinden bağımsız etkilerini tespit için- unsurlara ayırma yöntemi (*Time Series Decomposition Method*), aslında yapay bir varsayıma dayanmaktadır. Bununla birlikte, özellikle tahmin işlemlerinde önem kazanan bu sakıncaya rağmen, model, yine de zaman serileri analizinde en yaygın yaklaşım olma vasfını korumaktadır. Bu konuyla ilgili olarak ileriki bölümlerde daha detaylı bilgi verilecektir. Zaman serileri çözümlenmesi kullanılarak, zaman serilerini etkileyen faktörler belirlenir ve bu belirlenen faktörler kullanılarak geçmiş açıklanır. Daha sonra, istatistiksel açıdan normale göre gerçekleşen durum değerlendirilerek belirlenen unsurların gelecekte de seriyi aynı şekilde etkileyeceği varsayılarak, gelecek dönemler için tahminler yapılır. Bu tahminler ise plânlamada ve karar vermede kullanılarak daha etkin bir faaliyet sağlanır.

2.1.2.1. Stokastik Süreç

Teorik olarak bir zaman serisi, bir rastgele değişkene $\{X_t\}$ ilişkin gözlemler bütünüdür. Zamana göre sıralanmış böyle gözlemler serisi, stokastik süreç olarak adlandırılır. Değişkenler, sürekli ya da kesikli olabilir ve sırasıyla $X(t)$ ve X_t olarak gösterilir. Ekonomik zaman serileri kesikli değişkenlerdir.

X_t gibi kesikli veya sürekli bir rastgele değişkenin alabileceği değerlerin hangi sıklıkta olduğunu ifade eden fonksiyona, olasılık sıklık fonksiyonu (*probability density function*) denir ve $f(x)$ ile gösterilir. Bu fonksiyon 0 ile 1 arasında bir değer alır¹¹³.

X_t rastgele değişkeninin en küçük değerinden belli bir değerine kadar olan sıklıkları yani, olasılıkların toplamını ise, dağılım fonksiyonu (*distribution function*) verir. Stokastik bir sürecin dağılımı, söz konusu değişkenin birinci ve ikinci momentleri ile nitelendirilebilir. Her ikisi de zamanın (t) bir fonksiyonudur.

¹¹³ UYGUR, Ercan, “Ekonometri: Yöntem ve Uygulama”, İmaj Yayıncılık, Ankara, 2001, ss.105-107.

1nci moment ortalamalardır: $\mu_t = E(X_t)$

2nci moment varyanstır.....: $\sigma_t^2 = Var(X_t)$

Ve Otokovaryans.....: $\gamma_{t_1,t_2} = Cov(X_{t_1}, X_{t_2})$

Eğer X_t normal bir dağılıma sahipse, X_t 'nin dağılımı, birinci ve ikinci momentleri tarafından tam olarak ifade edilebilir ve bu durumda, Gaussian süreç olduğundan söz edilir¹¹⁴.

Momentlerin zamana bağımlı olması, önemli bir sorundur. Buna ek olarak, tahmin edilmesi gereken çok sayıda parametre vardır. Tahmin edilmesi gereken parametre sayısını azaltabilmek için iki tür kısıtlamaya başvurulabilir:

- Durağanlık (Sürecin zamana bağımlılığı hakkındaki kısıtlamadır),
- Asimptotik bağımsızlık (Sürecin hafızası (*memory*) hakkındaki kısıtlamadır).

Bu kavramlar daha ileriki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.2.2. Ekonomik Zaman Serilerinin Tanımı

Zaman serileri fiziksel süreçlerin zamanla değişimini ölçmekle beraber, ekonomin zaman serileri özellikleri, gerçekleşme şekilleri itibarı ile farklılıklar gösterir. Örneğin, sismik gürültü kayıtları süregelen bir zaman serisi oluştururken; hisse senetleri, içinde trendlerin, mevsimsel ve konjonktür salınımların olduğu bir zaman serisini gösterir. Eşitlik 2.5'de fonksiyon olarak açıklanan zaman serilerinin bileşenlerini analizin anlamlı olması açısından önemlidir.

- **Trend:** Zaman serilerinin uzun dönem eğilimine trend adı verilmektedir. Çalışmalarda bu süre en az yedi yıl olarak kullanılabilir. Zaman serilerinin en önemli bileşenidir. Seri, sürekli artan ortalama üzerinde salınıyorsa, ortalama trend; seri, değişen bir ortalama üzerinde salınıyorsa da varyansta trendin olduğu söylenir. Basit bir tanımla, zaman serilerinin uzun sürede gösterdiği düşme ve yükselme süreçlerinden sonra oluşan kararlı durumdur¹¹⁵. Trend bileşeni, zaman bağlı değişken üzerindeki genel eğilime neden olan uzun dönemli etkileri açıklar. Bu özellikler genellikle, demografik özelliklerdeki, coğrafi dağılımdaki kişi başına gelirdeki, teknolojik gelişmelerdeki ve fiyat

¹¹⁴ MADDALA, G.S. (Gangadharrao Soundalyara), KIM, In-Moo, "Unit Roots, Cointegration and Structural Changes", Cambridge University Press, Cambridge, 2002, ss.8-11.

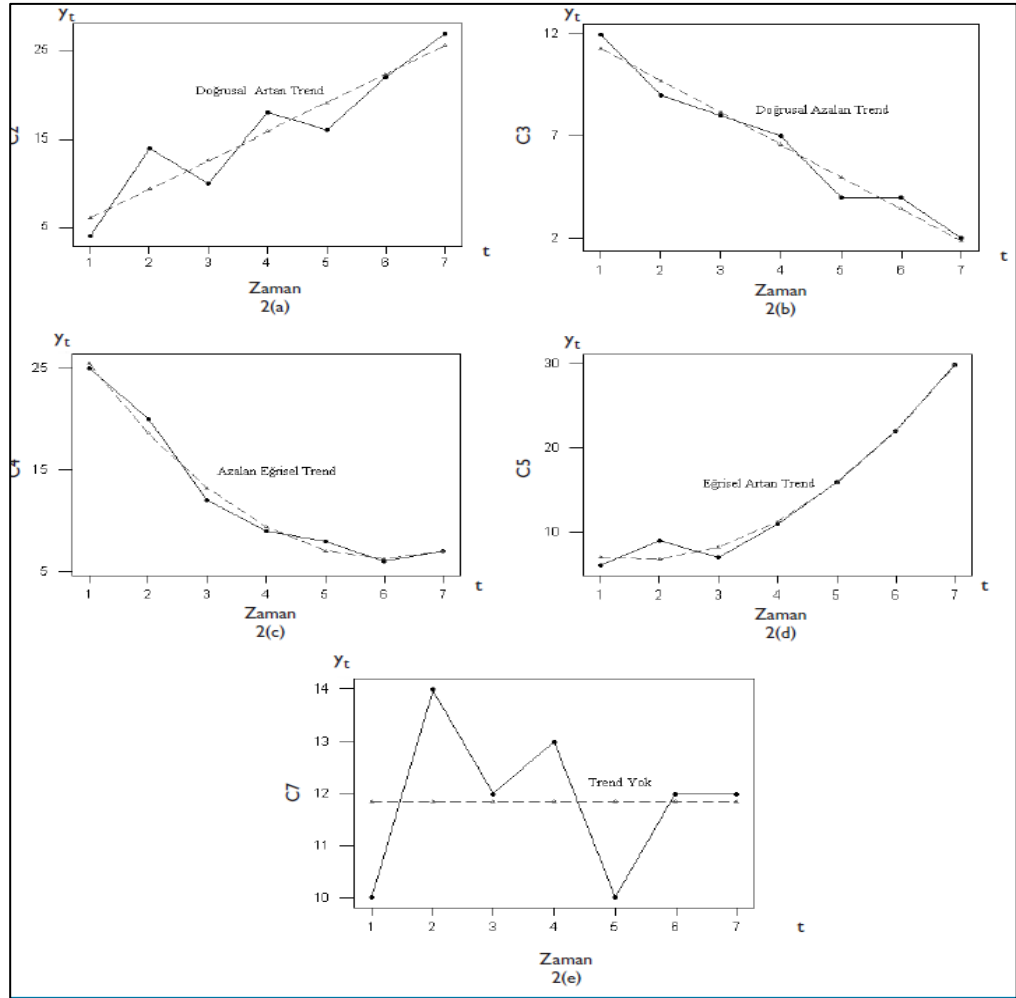
¹¹⁵ NEWBOLD, Paul, "İşletme ve İktisat için İstatistik", Çev: Ümit Şenesen, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2000, ss.777-785.

değişmelerindeki etkiler olarak sıralanabilir. Çeşitli matematiksel fonksiyon şekillerine sahip olabilecek trend, istatistiksel tahmin yöntemleri ile tahmin edilip parametrik ve parametrik olmayan hipotez testleri ile sınanabilir. Trend analizinde sadece matematiksel yaklaşım kullanarak, trendi bir matematik fonksiyonu olarak oluşturmak mümkündür. Ancak, bu yaklaşım yerine, incelenen olayla ilgili değerlendirme de yapılmasına imkân veren ve matematiksel yaklaşımı araç olarak kullanan sübjektif analiz, ekonomik olaylarda daha verimli sonuçlar verir. Amaç, matematik işlemlerin trend fonksiyonuna uygulanması değil, iktisadî güçlerin etkisini ölçmek, olayın ana hatlarını belirlemek ve gelecek için tutarlı tahminler yapmaktır. Araştırmacı, olayın bünyesinde bu tahminleri etkileyecek bazı unsurların varlığına karar verirse, matematik uygunluktan vazgeçme pahasına, tahminleri etkileyecek bu unsurları en iyi yansıtan fonksiyon tipini seçmelidir¹¹⁶. Bununla birlikte, trend fonksiyonunun oluşturulmasında araştırmacının sübjektif yargıları ile matematik kriter ender olarak çelişmekte ve genellikle birbirini tamamlayan bir bütün meydana getirmektedirler. Ayrıca, trendden sapmaların ölçülmesi suretiyle diğer unsurların hesaplanmasına ve seriler arasında karşılaştırmayı sağlar. Ancak, uzun süreli sağlıklı verileri her zaman bulmak mümkün olmadığı için, araştırmacılar çalışmalarını genellikle mevsimsel ve konjonktür dalgalanmaları inceleyerek tahmin yöntemleri kurgulamaktadırlar.

Trend fonksiyonun hesabında yarı ortalamalar, hareketli ortalamalar ve en küçük kareler yöntemleri kullanılabilir. Ancak, yarı ortalamalar metodunun yetersizliği; hareketli ortalamaların ise, yıllık serilere uygulanabilirliğinin sınırlı olması nedenleriyle, en küçük kareler yöntemi en yaygın hesaplama yöntemi olarak kullanılır.

Ekonomik verilerdeki değişimlere bağlı olarak trendin aynı kalmadığı durumlar grafik olarak Şekil 2.3.'te verilmiştir. Şekil 2.3a ve b'de gösterildiği gibi doğrusal, Şekil 2.3c ve d'de gösterildiği gibi eğrisel trendle karşılaşılabılır. Şekil 2.3e'de ise, değerler zaman içinde artış veya azalış göstermeyen trend oluşturur, diğer bir deyişle bu durumda trend yoktur.

¹¹⁶ GENCELİ, Mehmet, "Trend Oluşturulmasına İlişkin Bazı Sorunlar", İktisat Fakültesi Mecmuası, Cilt 35, Sayı 1-4, İstanbul, 1977, s.211.



Şekil 2.3: Çeşitli Trend Türleri

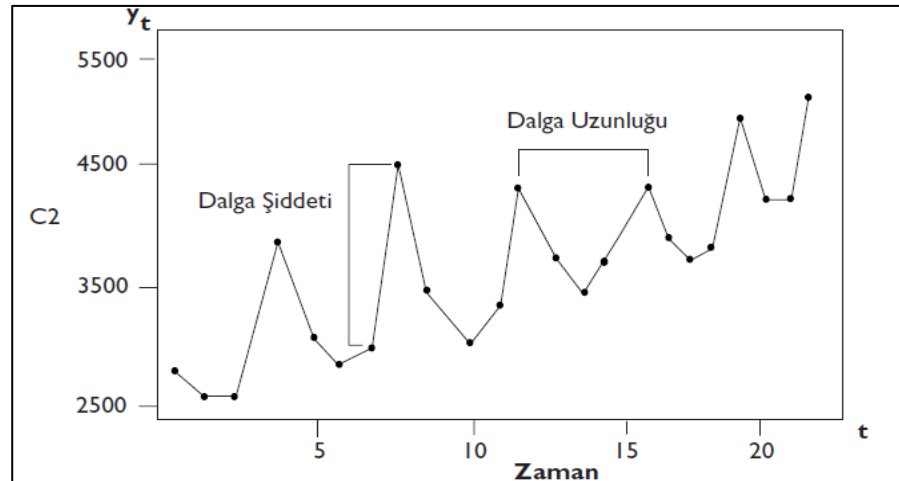
Ekonomik verilerde trend; ortalamada, varyansta ve bir bileşenin önemindeki değişim veya otoregresif değişimdeki trend olarak ayrılabilir. Eğer seriler sürekli artan bir değer üzerinde salınım yapıyorsa bu ortalamada bir trend olduğunu gösterir. Eğer serilerdeki salınımlar bir ortalama etrafında zamanla değişiyorsa bu da varyanstaki trendi ifade eder. Nüfus artışı, üretim, tüketim gibi verilerde genellikle ortalamada trend bulunurken, fiyat verileri, endeks gibi verilerin varyansında trend bulunabilir. Ancak, bu trendler birbirinden bağımsız değildir ve birbirlerini etkilemektedirler. Bir başka trend de, bileşenlerin birinde (örneğin, mevsimsel dalgalanmalar) veya otokorelasyondaki (serideki bir değerın önceki değere olan korelasyonunun zamanla değişimi) değişimdir.

- **Mevsimlik dalgalanmalar**, mevsimin zaman serileri üzerindeki etkilerini ifade etmektedir ve birbirini izleyen yılların, mevsimlerin, çeyrek yılların, ayların ya da günlerin aynı zaman noktalarında zaman serisi gözlem değerlerindeki bir artma veya bir azalma şeklindeki düzenli değişimleri açıklar. Mevsimsel değişimler genellikle iklimle, saatle, ya da geleneklerle ilişkilidir ve dolayısıyla dalgalanmalar şeklide olurlar, dalga boyu (frekansı) ve dalga yüksekliği olan periyodik ve döngüsel özelliğe sahiptirler. Zaman serilerinde mevsimsel dalgalanmaların incelenmesi, kısa dönem dalgalanmaların anlaşılması ve açıklanması, kısa dönem tahminlerin yapılabilmesi ve son olarak da zaman serilerinden mevsim etkilerinin arındırılması açısından önemlidir¹¹⁷. Ancak, “ p ” periyodu ile salınan fonksiyon, p , $p/2$, $p/3$,...vb. periyoda sahip sinüzoidallerden oluşmaktadır. Dolayısıyla, bir serinin mevsimsel bileşenini Fourier dönüşümü yardımıyla periyodogram analizi veya spektral analizle incelemek istediğimizde 12 aylık periyodu yanında 3 ve 2,4 aylık periyotlar da özel bir öneme sahiptir. Mevsimsel dalgalanmaların, serilerden çıkarılması için pek çok yöntem geliştirilmiştir ancak, maalesef bu yöntemlerin pek çok yan etkisi de mevcuttur. Spektral analizle inceleme yapılırken, bu mevsimsel bileşenin tamamının seriden çıkarılmasına gerek yoktur, eğer önemliyse azaltılması yeterlidir. Mevsimsel dalgalanmalar zamanla değişmiyorsa, tavsiye edilen yöntem 12 aylık ve bunun harmoniklerini kullanan Fourier terimlerini kullanmaktır. Eğer bileşen zamanla değişiyorsa bu durumda karmaşık demodülasyon tekniğini kullanmak daha faydalı olacaktır¹¹⁸.

Şekil 2.4.’te verilen çeyrek yıllık gözlem değerlerinden oluşan C2 zaman serisinin Kartezyen grafiği incelendiğinde, serinin rastgele dalgalanmalarının yanında trend ve birbirini izleyen yılların dördüncü çeyreklerinde maksimum, ikinci çeyreklerinde minimum değerler alma eğilimine sahip olan mevsimsel bileşenin etkisi altında olduğu söylenebilir.

¹¹⁷ KAZAN, Ayşe; ALTAN, Şenol, “Zaman Serilerin Mevsimsel Etkiler ve En Küçük Kareler Yönteminin Kullanımı”, Gazi Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, 2002, ss.1-10.

¹¹⁸ GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, “Spectral Analysis of Economic Time Series”, Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.14-15.



Şekil 2.4: Çeyrek Yıllık Bir Örnek Zaman Serisinin Kartezyen Grafiği

Şekil 2.4'te ayrıca mevsimsel dalgaların dalga uzunluğu ve şiddeti de gösterilmiştir. Mevsimsel değişimler, dalga uzunluklarının birbirine eşit olması nedeniyle periyodik, tekrar tekrar meydana gelmiş olmaları nedeniyle de, döngüsel özelliğe sahiptirler. Ancak, mevsimsel dalgaların dalga şiddetleri birbirinden farklı veya eşit olabilir. Eğer bir zaman serisindeki mevsimsel değişmelerinin dalga şiddetleri trend etkisinin belirlediği genel eğilimden bağımsızsa, bu serinin, eşit mevsimsel dalga şiddetine sahip mevsimsel değişme gösterdiği, bağımlıysa eşit olmayan dalga şiddetine sahip mevsimsel değişme gösterdiği söylenir.

Mevsimsel değişmelerin dalga uzunluğunun ve dalga şiddetinin doğru olarak belirlenmesi, zaman serisi çözümlerinde en önemli konulardandır. Çünkü, bu durum, çözümlenme amacıyla kullanılan yöntem türünün ve model tipinin belirlenmesine etki eder. Mevsimsel değişmeler düzenli değişmeler olduğundan, herhangi bir zaman dönemi için etkileri daha kolay tahmin edilebilir.

- **Konjonktür dalgalanmalar** ise, ekonominin gelen durumu ile ilgili dalgalanmalardır. Ekonomik durumun durgunluk, yükseliş, refah ve gerileme gösterdiği dalgalanmalar konjonktür dalgalanmalardır. Ekonomi, iş idaresi, iklim değişimi, moda alanlarıyla ilgili etkiler nedeniyle trend düzeyi etrafında iki ile on yıl ya da daha fazla zaman aralıklarıyla, herhangi bir dönemde, artma veya azalma şeklinde tekrarlanabilen, periyodik olmayan ancak döngüsel

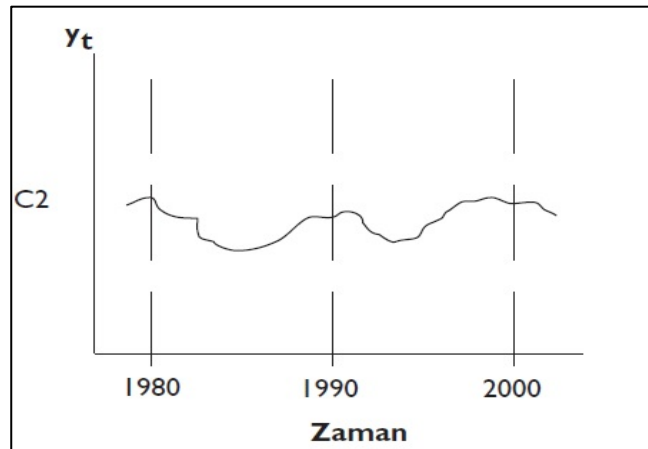
değişmelerdir. Ancak, konjonktür dalgalanmalar refahı ve gerilemeyi temsil etmelerine rağmen, bu hareketlerin aynı periyot ve genliklerde periyodik olarak tekrar tekrar oluştuğuna dair ciddi bir kanıt yoktur. Bazı döngüler hafif bazıları şiddetlidir, bazıları kısa sürer bazıları uzun sürer. Bu düzensizlik nedeniyle ekonomik model oluşturmadaki zorluk, serilerin istatistiki olarak analizini de zorlaştırmaktadır. Trend ve mevsimsel dalgalanmalar ekonomik zaman serilerinin en önemli bileşenleri olmasında rağmen, bu bileşenler seriden çıkarıldığı zaman, geriye kalan en belirgin özellik iki yıl ve daha uzun süren düzensiz salınımlardır. Bu düzensiz salınımların bir periyodu olduğunu söylemek hata olabileceği gibi, araştırmacılar farklı konjonktür döngüsel salınımları incelemişlerdir. Bunlar; 40-60 yıl arası döngülü Kondratieff Uzun Dalgası, 20 yıllık Kuznets Uzun Dalgası, 15-20 yıl arası döngülü İnşaat Döngüsü, 6-11 yıl arası döngülü büyük (majör) döngü ile 2-4 yıl arası döngülü küçük (minör) döngü, 1-11 yıl arası döngülü iktisadî döngüler ve ortalama süreleri 24 ay olan Mack'ın Alt döngüleri olarak sayılabilir¹¹⁹. Konjonktür dalgalanmalar, refah ve depresyonun birbirini takip eden döngülerini göstermekle beraber, bu salınımların periyodik olmadığı konusunda ortak bir görüş vardır. Konjonktür dalgalanmaların aynı şekil, süre, genlik ve modelde yineleneyeceğine dair bir kanıt yoktur¹²⁰. Düzenliliğin ve aynı zamanda düzensizliğin bileşimi olan ekonomik zaman serileri ekonometrik modellerin oluşturulmasında ve analiz edilmesindeki en önemli engeldir. Spektral teknik kullanılarak konjonktür salınımlar sinüzoidallere çevrilerek, bu düzenli ve düzensiz zaman serilerine matematiksel olarak doğal bir yaklaşım yapılır. Spektral teknik, sinüsler toplamı yerine frekans bandındaki sinüslerin integralini alarak özellikle iktisadî dalgalanmaları daha etkin olarak açıklar. Bu özellik, spektral analizin Fourier analizine göre önemli üstünlüklerinden biridir. Ancak, spektral analizde ihtiyaç duyulan veri süresi, dalga boyunun yedi katı olması, konjonktür dalgalanmaların analizinde yeterli uzunlukta verinin elde bulunamamasına neden olur. Bu durum da sağlıklı analizin yapılmasını engeller. Örneğin, Kuznets Uzun Dalgası'nın analizi için 140 yıllık veriye ihtiyaç vardır. Ayrıca, yedi sayısı serilerin ortalamasında bir trendin olmadığı

¹¹⁹ GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, age., ss.16-17.

¹²⁰ GORDON, Robert A., "Business Fluctuations", 2nci Baskı, Harper & Row, New York, 1961, s.250.

durumlar için geçerlidir; ortalamada trendin olduğu serilerde bu süre daha da uzun olacaktır. Gerçekte, analistlerin Mack'in Alt Döngüleri dışında sağlıklı veri bulabileceği fazlaca ekonomik veri bulunmamaktadır. Konjonktür dalgalanmalarla ilgili olarak önemli bir konu da, bazı ekonomik serilerin diğer ekonomik serilerle bir uzlaşma içinde birlikte hareket etmeleridir. Bazı seriler öncülük ederken diğerleri bu serileri takip etmektedirler. Çapraz spektral analiz tekniği de bu tür konjonktür dalgalanmaların incelenmesinde çok kullanışlıdır. Çapraz spektral analizle her bir bileşen çifti arasındaki ilişkinin yakınlığı, regresyon katsayıları ve öncü ve takipçi arasındaki ilişki analiz edilebilir.

Şekil 2.5.'de, konjonktür dalgalanmaları gösteren bir grafik verilmiştir. Konjonktür bileşenin açıkladığı değişimler periyodik olmayan, ancak döngüsel olan değişimlerdir. Bu değişimler, ekonomi ve iş idaresiyle ilgili değişkenler üzerinde aynı şiddette olmasa da aynı yönde etki ederler. Konjonktürün artma yönündeki etkisi, trendin artış eğilimini hızlandırır. Buna karşılık, konjonktürün azalma yönündeki etkisi trendin artış hızını yavaşlatır, hatta tamamen durdurabilir. Konjonktür değişimlerinin sadece ekonomik faktörlerdeki değişimlerden meydana gelmesi gerekmez. Örneğin, iklim koşullarındaki değişimler, tarım ürünlerinin üretim miktarlarında konjonktür değişimlere neden olabilir. Yine modadaki değişimler, belirli bir ürünün satışları üzerinde döngüsel değişimlere neden olabilir.



Şekil 2.5: Konjonktür Değişme

- **Rastgele dalgalanmalar** ise, doğal, ekonomik veya siyasi nedenlerden ortaya çıkan ve ne zaman meydana geleceği belli olmayan tesadüfi hareketlerdir. Beklenmedik olayların zaman serileri üzerindeki etkisiyle meydana gelmektedir. Rastgele serilerin üç aydan daha fazla sürmeyeceği varsayılır. Zaman serilerinin incelenmesinde yanıtıcı faktörlerin de önemi dikkate alınmalıdır. Ayların gün sayılarının 28, 29, 30 ve 31 gibi farklılıklar göstermesi, bayram ve hafta sonu tatilleri, dini olaylar, iş günü sayıları, enflasyon faktörü zaman serilerinin analizleri sırasında dikkate alınmalı ve ilgili veriler gerekli düzeltme yapıldıktan sonra kullanılmalıdır.

2.1.3.4. Zaman Serilerinin Analiz Yöntemleri

İstatistiksel çalışmalarda ana kütlede çekilen örnek yardımıyla bütün hakkında istatistiksel yorumlara ulaşılabilir. Zaman serilerinin çözümlenmesinde de aynı teknik geçerlidir; yani, teorik bir zaman serisinden elde edilen gözlem verilerine ait stokastik süreç hakkında analiz yapılır ve tüme yönelik yorumlarda bulunulur. Bu şekilde çıkarımlarla ileriye yönelik tahminlerde bulunulur. Zaman serileri yukarıda belirtilen tüm bileşenlerden birini, ya da hepsini içerebilir ve bir seride bu hareketlerden birinin etkisi, bir diğerinde içinde kendisini gösterebilir¹²¹.

Zaman serilerinin analizinde amaç, bu unsurları birbirlerinden ayırmak suretiyle, seriyi oluşturan olayın gerçek yapısını, gerçek niteliğini tespit etmek ve buna bağlı olarak ileriki dönemlerde kaydedeceği gelişme ile ilgili tahminlerde bulunmaktır¹²². Zaman serisi analizinde, bu analiz ister klâsik ister modern olsun, unsurların etkilerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımıyla, unsurların etkisini ayrı ayrı ölçmek esasına dayanır¹²³. Ancak, gerçekte bu unsurlar birbirinden bağımsız değildir. Ancak, analiz yapmak amacıyla bu unsurlar yapay olarak birbirinden ayrılmaktadırlar. Bu sakıncasına rağmen, unsurlara ayırma, tahmin yapmada hala en yaygın yöntem olarak kullanılmaktadır.

¹²¹ ÜNSAL, Aydın, “Zaman Serilerinde Regresyon ve Varyans Analizi Yöntemleri İle Mevsimsel Dalgalanmaların Araştırılması ve Bir Uygulama”, Ekonomik Yaklaşım, Cilt 8, Sayı 26, Güz 1997, ss.119-130.

¹²² ALLEN, Roy G.D., “Statistics for Economists”, Mc-Millan, Londra, 1964, ss.133-152.

¹²³ HAMBURG, Morris, “Statistical Analysis for Decision Making”, Harcourt-Brace, New York, 1970, s.541.

Analize geçmeden evvel, zaman serilerinin ön incelemesi, grafikler, histogram ve basit istatistik yöntemleri kullanarak yapılmalıdır. Basit istatistik yöntemler, ortalama, varyans, minimum, maksimumlar, çarpıklık (*skewness*) olarak sayılır. Bu inceleme araştırmacıya, gözlemlenen zaman serisi değişkeninin uygun normal dağılım değerlerine sahip olup olmadığını ve herhangi bir aykırı durum için özel bir işlem gerekli olup olmadığına karar vermesine yardımcı olur. Serideki varyans incelenerek bir salınım oluşturup oluşturmayacağı değerlendirilir. Varyansı çok küçük olan seriler bir salınım oluşturmayacağından, bu veriler analiz hiç başlamadan elenebilir. Serinin desenini belirlemede en çok kullanılan yöntem ise %95 güven aralığı ile yapılacak gecikmeli verilerin otokorelasyonu analizidir. Eğer, gecikmeli otokorelasyon %95 güven aralığının dışındaysa, serinin bir desene sahip olduğu söylenebilir. Gecikmeli otokorelasyonu belirlemek için Box-Ljung Q Testi veya Durbin-Watson istatistiği kullanılır. İkinci olarak, yapılacak önincelemeyle, yapılan varsayımlarda da bir hata veya istatistiksel bir ihlal olup olmadığı değerlendirilir. Serideki aşırı aykırı veriler regresyon veya korelasyon analizinde de olduğu gibi, spektral analizin sonuçlarına orantısız etki yapabilirler. Aykırı durumlar gerçek değerleri temsil etseler bile, değerleri serideki diğer yakın değerlere göre küçültülmeli veya seriden çıkarılmalıdırlar. Ayrıca, son olarak da, ön inceleme ile seriden ayrıştırılması gereken trend ve benzeri desenler belirlenir.

Klâsik modelin yanı sıra, otoregresyon hareketli ortalamalar (*Box Jenkins method*) ve serinin sistematik unsurlarını tesadüfi kısımdan ayırmayı hedef tutan süzme yöntemi (*filtering method*) gibi ihtimal modellerine dayanan ekonometrik modeller; yine aynı amaçla kullanılan ve ilke olarak hareketli ortalamalar esasına dayanan üstel düzeltme yöntemi (*exponential smoothing method*); zaman serilerini sinüs ve kosinüs gibi trigonometrik fonksiyonlar cinsinden ifade eden spektral analiz (*spectral method*) gibi modeller de söz konusudur (Özoğuz, 1986).

Zaman serilerinin analizinde çok farklı yöntemler geliştirilmiştir, bu yöntemlerin belli başlı olanları;

- **Hareketli ortalamalar (MA)**, zaman serilerini trend, mevsimsel ve rastgele bileşenlerin etkisinden arındırmak suretiyle, bu serilerin genel eğilimini elde etmek amacıyla başvurulan bir istatistiksel yaklaşımdır. Serinin gecikmeli hata terimi, şimdiki hata terimini etkiliyorsa hareketli ortama süreci tanımlanır. Bir

hareketli ortalama sürecinde, değişkenin tahmin değeri hata terimlerinin tahmin değeri ile ilgilidir. Zaman serilerinde trend ve konjonktür bileşenlerin etkisini göstermesini sağlarlar. Zaman serileri sıralı kümelerle ayrılarak, kümelerin ortalamaları alınır. Bir hareketli ortalama süreci (MA);

$$x_t = e_t + b_1 e_{t-1} + \dots + b_j e_{t-j}, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

$$x_t = \sum_{j=0}^k b_j e_{t-j} \quad (2.7)$$

Bu eşitlik, q 'ncü dereceden hareketli ortalama süreci olarak adlandırılır ve $MA(q)$ olarak gösterilir. MA süreci ekonomide çoğunlukla trendden arındırma yöntemlerinde kullanılmaktadır. Trendden arındırmak için sıkça kullanılan bir yöntem X_t zaman serisinin gerektiği kadar farkını almaktır.

- **Bileşenlere ayırma** yöntemi, zaman serilerinin bileşenlerinin toplamından veya çarpımından oluştuğu modeline göre tasarlanmıştır.

$$y_t = T_t * M_t * K_t * R_t \quad \text{çarpımsal} \quad (2.8)$$

$$y_t = T_t + M_t + K_t + R_t \quad \text{toplamsal} \quad (2.9)$$

Burada;

y_t : Zaman serisinin t zamanındaki gözlem değerini,

T_t : Trend bileşenin t zamanındaki etkisini,

M_t : Mevsimsel bileşenin t zamanındaki etkisini,

K_t : Konjonktür bileşenin t zamanındaki etkisini,

R_t : Rastgele bileşenin t zamanındaki etkisini,

göstermektedir.

Çözümlemesi istenen zaman serisi, trend artarken mevsimsel bileşen artan veya azalan bir değişim gösteriyorsa çarpımsal yöntem kullanılır. Gerçek uygulamalarda, serilerin pek çoğunda mevsimsel değişimlerin dalga şiddetleri farklılık gösterdiği için, zaman serisi çözümlemelerinde genellikle çarpımsal yöntem kullanılır. Seriler öncelikle yanıtıcı faktörlerin etkisinden arındırılır. Zaman serilerinin tüm bileşenlerin etkisinde olması beklenmez. Sık karşılaşılan yıllık zaman serileri, mevsimsel bileşenin etkisini göstermezler. Mevsimsel bileşenin etkisi gösterdiği zaman serilerinde, öncelikle hareketli ortalamalar

yöntemi kullanılarak mevsimsel bileşenin tahmini ve seriden arındırılması sağlanır. Daha sonra trend, hem doğrusal hem de eğrisel modele göre oluşturulan trend denklemleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilir. Doğrusal ve eğrisel trend eşitlikleri;

$$t_t = b_0 + b_1 t \quad \text{doğrusal model} \quad (2.10)$$

$$t_t = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 \quad \text{eğrisel model} \quad (2.11)$$

Burada;

t_t : trend tahmin değeri,

b_0, b_1, b_2 : Tahmin edilecek model parametreleri 0,1 ve 2'nin tahmin değerleridir.

Doğrusal Trend modelinde kullanılan en küçük kareler denklemleri;

$$\sum y_t = nb_0 + b_1 \sum t \quad (2.12)$$

$$\sum y_t t = b_0 \sum t + b_1 \sum t^2 \quad (2.13)$$

Eğrisel Trend modelinde kullanılan en küçük kareler denklemleri ise;

$$\sum y_t = nb_0 + b_1 \sum t + b_2 \sum t^2 \quad (2.14)$$

$$\sum y_t t = b_0 \sum t + b_1 \sum t^2 + b_2 \sum t^3 \quad (2.15)$$

$$\sum y_t t^2 = b_0 \sum t^2 + b_1 \sum t^3 + b_2 \sum t^4 \quad (2.16)$$

Gözlem değerleri ile trend tahmin değerleri arasındaki farklara $(y_t - t_t)$ tahmin hataları adı verilir. Tahmin hatalarının ortalama ölçüsü standart hata;

$$s_y = \frac{\sqrt{\sum (y_t - t_t)^2}}{n}, \quad n \geq 30 \text{ ise} \quad (2.17)$$

$$s_y = \frac{\sqrt{\sum (y_t - t_t)^2}}{n - k}, \quad n < 30 \text{ ise} \quad \begin{cases} k = 2, & \text{doğrusal model} \\ k = 3, & \text{eğrisel model} \end{cases} \quad (2.18)$$

Doğru karar vermek için trend her iki denkleme göre tahmin edilir ve karşılaştırılan standart hatası küçük olan tercih edilir.

Daha sonraki aşamada konjonktür bileşen ve rastgele bileşen aşağıdaki eşitlikle tahmin edilir;

$$k_t r_t = \frac{y_t}{t_t} \quad (2.19)$$

Tahmin edilmiş olan $k_t r_t$ tahminleri, sanki K_t bileşeninin k_t tahminiymiş gibi yorumlanır. $k_t r_t = 1$ olduğunda, zaman serisinin t dönemindeki gözlem değeri üzerinde konjonktür etkinin görülmediği; $k_t r_t > 1$ ya da $k_t r_t < 1$ olması durumlarında ise, konjonktür etkinin olduğu yorumu yapılır. $k_t r_t > 1$ iken seri, trendin üzerinde; $k_t r_t < 1$ ise, trendin altında değer almasına neden olur. Daha sonra da serinin öngörü modelleri oluşturulur, ancak konjonktür ve rastgele bileşenler ile ilgili güvenilir öngörü türetilmediği için bu iki bileşen modele dâhil edilmez. Tahmin eşitliği aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$y'_{t+1} = t_{t+1} = b_0 + b_1(t + 1) \quad (2.20)$$

- **Otoregresif süreç (AR)** modelinde, bağımlı değişken geçmişteki değerinin bir fonksiyonudur. Model x_t 'nin, serinin geçmiş değerlerinin lineer toplamı ile geçmişle ilişkisiz bağımsız bir terimden oluştuğunu varsaymaktadır. Birçok zaman serisi verisi de bu süreci içermektedir. Bu durum, aşağıdaki gibi bir denklemlerle ifade edilebilir;

$$x_t = a + a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + a_3 x_{t-3} + \dots + a_p x_{t-p} + \varepsilon \quad (2.21)$$

$$x_t = \sum_{p=1}^k a_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.22)$$

Burada;

a : sabit terimi,

a_1, a_2, a_3, \dots : gecikmeli değerle şimdiki değer arasındaki ilişki katsayısını,

ε : rastgele şokları tanımlayan hata terimini gösterir.

Eşitlik p 'nci dereceden otoregresif süreç olarak adlandırılır ve $AR(p)$ olarak gösterilir.

- **ARMA ve ARIMA Süreci:** Çoğu zaman serisi, gerek AR, gerekse MA sürecini içermektedir. Ayrıca, I (*Integrated*) ise, seri tarafından içerilen trendi ifade etmektedir. ARIMA olarak ifade edilen süreç değerlendirilecek olursa, ARIMA(p,d,q) bize, zaman serisinin p dereceden kendisinin gecikmesi ile ilişkisini ifade eden AR(p) sürecini içerdiğini, q ile ifade edilen ve hata terimlerinin geçmiş değerleri ile ilişkisini ifade eden ve rastgele süreci yansıtması açısından hata terimlerinin düzleştirilme metotlarından olan MA(q) sürecini ifade etmektedir. Ayrıca, eğer zaman serilerinde genelde olduğu gibi bir durağan olmama durumunun olması ya da durağan bir zaman serisi ile karşılaşmamız d ile ifade edilir ve zaman serisi hangi düzeyde durağan (*integrated*) ise belirtilir. Söz konusu denklem;

$$x_t = m + a_1x_{t-1} \dots \dots a_px_{t-p} + u_t - bu_{t-1} - \dots - b_qu_{t-q} \quad (2.23)$$

$$x_t = m + \sum_{i=1}^p a_ix_{t-i} + u_t + \sum_{i=1}^q b_iu_{t-i} \quad (2.24)$$

Yaygın olarak kabul görmüş, durağan olan, ya da olmayan, mevsimsel öge içeren ya da içermeyen herhangi bir zaman serisini modellemeye olanak tanıyan ve ekonometrik paket programlarda kolaylıkla kullanılan Box-Jenkis yönteminin temeli, ARIMA(p,d,q) değerler dizisine (paradigma) dayanır. Otoresif ve hareketli ortalamaya sahip zaman serilerini incelemekte ve bu yöntemle göre zaman serilerinin durağanlığı korelogram ile tespit edilmekte ve yine zaman serisinin ne tür bir süreç içerdiği de korelasyon fonksiyonları ile analiz edilmektedir. Zaman serilerinde durağan olmama durumunda, farkı alınarak durağanlaştırılmakta, ancak eğer yine durağanlık ile karşılaşılmaz ise, bu sefer verilere geri dönülmektedir. Ancak, eğer durağanlık sağlanmış ise, bu durumda model ARMA ile tahmin edilip, öngörü işlemi yapılmaktadır¹²⁴.

ARIMA modelleri, ekonomik olaylarda görülen uzun süreli salınımları veya konjonktür salınımları yeterli olarak gösterebilir, ancak bu bileşenler çok değişkenli model ile daha iyi açıklanabilir¹²⁵.

¹²⁴ MADDALA, G.S. (Gangadharrao Soundalyarao), KIM, In-Moo, "Unit Roots, Cointegration and Structural Changes", Cambridge University Press, Cambridge, 2002, s.18 ve KUTLAR, Aziz, "Ekonometrik Zaman Serileri-Teori ve Uygulama", Gazi Kitapevi, Ankara, 2000, ss.47-48.

¹²⁵ GRANGER, Clive W. J.; WATSON, Mark W, "Time Series and Spectral Methods in Econometrics-Handbook of Econometrics", Cilt II, Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam, 1984, s.985.

- **ARCH Modeli**, geleneksel zaman serisi yöntemlerindeki hata terimlerinin, sabit varyanslı olma varsayımından farklı olarak; hata terimleri u_t 'nin t dönemindeki varyansının geçmiş dönemlerdeki u_t 'nin varyansı ile ardışık bağımlı (otokorelasyonlu) olduğu öngörüsü ile geliştirilmiştir¹²⁶. ARCH'ın temel düşüncesi u 'nun t dönemindeki varyansı σ_t^2 'nin $(t-1)$ dönemindeki hata terimi karesi olan $u_{(t-1)}^2$ 'e bağlı olmasıdır. Bu modelde, koşulu varyans kalıntılarının geçmiş değerlerinin karelerinin doğrusal bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. ARCH modelleri bağımlı değişkeni modellemekte ve bu değişkenin varyansının öngörüsünü yapmaktadır. Bu tip modellerde bağımlı değişkenin varyansı kendi geçmiş değerlerine bağımlı olarak tanımlanmaktadır¹²⁷. ARCH(q) modeli şu şekilde gösterilmektedir;

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 \quad (2.25)$$

- **GARCH Modeli**, t dönemindeki koşullu varyans h_t yalnız hata terimlerinin geçmiş değerlerinin karesine bağlı değil, aynı zamanda geçmişteki koşullu varyanslara da bağlıdır. Yani, hata terimlerinin varyansı hem kendi geçmiş değerlerinden, hem de koşullu varyans değerlerinden etkilenir¹²⁸. Böylece, koşullu varyansın otoregresif tanımlaması esasına dayanan ARCH modeline hareketli ortalama terimi ilave edilerek, Bollerslev (1986) tarafından geliştirilen GARCH* modeli oluşturulmuştur. Hata karakterinin gecikme uzunluğu q ve otoregresif kısmının gecikme uzunluğu da p ile ifade edildiğinde genel bir GARCH(p,q) süreci

$$\omega > 0; \alpha_i \geq 0; \beta_j \geq 0; \sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1 \text{ koşulları altında;}$$

¹²⁶ ENGLE, Robert F., "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation", *Econometrica*, Cilt 50, Sayı 4, 1982, ss.987-1008.

¹²⁷ PAYASLIOĞLU, Cem, "İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Volatilite Asimetrisinin Sınanması", *İMKB Dergisi*, Cilt 5, Sayı 18, Nisan, Mayıs, Haziran 2001, ss.1-11.

¹²⁸ BOLLERSLEV, Tim, "Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity", *Journal of Econometrics*, Cilt 31, 1986, ss.307-327.

* Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic – Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Heteroskedastic.

$$h_t = \omega + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-1} + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu modelin parametrelerinin kestiriminde “En çok Olabilirlik” (*maximum likelihood*) yöntemi kullanılmaktadır. Uygulamada, ekonometrik ve finansal zaman serilerinin karakteristiklerini açıklamak için yeterli görülen bir modeldir¹²⁹. GARCH (p,q) süreci, $p=0$ iken ARCH (q) sürecine indirgenmekte, $p=q=0$ iken ise, u_t beyaz gürültü özelliğine sahip olmaktadır. Modelin geçerliliği açısından; koşullu varyans denklemi yazıldıktan sonra tahmin edilen ARCH ve GARCH modelinin parametreleri ile ilgili iki koşul aranmaktadır. Bunlardan ilki, negatif olmama koşulu olarak bilinen varyansın pozitif olabilmesi için koşullu varyans denkleminin sağındaki sabit katsayının sıfırdan büyük ($\omega > 0$) ve diğer değişkenlerin katsayılarının sıfıra eşit ya da büyük olmasıdır ($\alpha_i \geq 0, \beta_j \geq 0; i=1,2,\dots,q$). İkinci koşul ise, otoregresif modellerle ilgili durağanlık koşuludur. Durağanlığın sağlanabilmesi için koşullu varyans denkleminin sağında bulunan sabit dışındaki diğer bütün parametrelerin toplamının birden küçük çıkması gerekmektedir $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$.

ARCH ve GARCH modelleri veri türeten süreçlerin tüm özelliklerini yakalamakta bazen yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle, bu modellerden yeni modeller üretilmiştir.

- **EGARCH modeli.** GARCH modelinin en önemli eksikliklerinden biri, pozitif ve negatif şoklara karşı volatilitenin simetrik tepki verdiğini varsaymasıdır. Ancak, bu varsayımın geçerli olmadığı durumlar da mümkün olmaktadır, yani volatilitenin şoklara karşı asimetrik tepki verdiği durumlar da söz konusudur. Finansal zaman serilerindeki kaldıraç etkisinin modellenmesinde yetersiz kalan GARCH modelleri yerine bu eksikliğin giderilebilmesi için Nelson (1991) tarafından üstel GARCH (EGARCH) modeli geliştirilmiştir. Bu model şu şekilde gösterilmektedir;

¹²⁹ HANSEN, Peter; LUNDE, Asger, “A Forecast Comparison of Volatility Models: Does anything Beat a GARCH (1,1)?”, *Journal of Applied Econometrics*, Cilt 20, Sayı 7, 2005, ss.873–889.

$$\log(h_t) = \varpi + \sum_{j=1}^p \beta_j \log(h_{t-j}) + \sum_{i=1}^q \alpha_i \frac{|u_{t-i}|}{\sqrt{h_{t-i}}} + \sum_{i=1}^q \gamma_i \frac{u_{t-i}}{\sqrt{h_{t-i}}} \quad (2.27)$$

- **TGARCH modeli**, pozitif şoklarla negatif şokların etkisinin simetrik olmadığı dikkate alan diğer bir model türüdür. Eşik GARCH modeli (*Threshold GARCH model*) olarak tanımlanır. TGARCH modellerinde, $u_{t-j}=0$ eşik değeri olarak kabul edilirse; olumlu haberlerin (pozitif şokların, $u_{t-i}>0$) koşullu varyans üzerindeki etkisinin olumsuz haberlerin (negatif şokların, $u_{t-i}<0$) koşullu varyans üzerindeki etkisinden daha az olacağı varsayımına dayanır¹³⁰. TGARCH modelinde bu etki, modele D_{t-i} kukla değişkeni eklenerek dâhil edilmektedir. Buna göre, TGARCH(p,q) modeli,

$$h_t = \omega + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \gamma_i D_{t-i} u_{t-i}^2; \quad D_{t-i} = \begin{cases} 1, & u_{t-i} < 0 \\ 0, & u_{t-i} \geq 0 \end{cases} \quad (2.28)$$

şeklinde yazılabilir. Böyle bir modelde eğer $\gamma_i \neq 0$ ise yeni haberlerin etkisinin farklı olacağı söylenebilir. Bununla birlikte, olumlu haberlerin etkisi α_i kadar olurken, olumsuz haberlerin etkisi $\alpha_i + \gamma_i$ kadar olacaktır. $\gamma_i > 0$ ise olumsuz haberin volatilité üzerindeki etkisinin, olumlu haberin etkisinden daha fazla olacağı, yani i 'nci düzeyden kaldıraç etkisinin olduğu söylenir. Diğer taraftan $\gamma_i = 0$ ise, bu yeni haberlerin volatilité üzerindeki etkisinin asimetrik olmadığı anlamına gelir ve bu durumda TGARCH modeli GARCH modeline eşit olacaktır¹³¹. Ayrıca, TGARCH modeli ile EGARCH modeli arasındaki fark TGARCH modelinde kaldıraç etkisinin karesel (*quadratic*), EGARCH'da ise üstel olmasıdır.

- **SPEKTRAL Süreç**: Zaman serilerini analiz etmenin önemli araçlarından biri olayların yoğunluğunu ve değişkenliğini frekansa veya periyotlarına göre

¹³⁰ MAPA, Dennis S., "A Forecast Comparison of Financial Volatility Models: GARCH (1,1) Is Not Enough", The Philippine Statistics, Cilt 53, No 1-4, 2004, ss.1-20.

¹³¹ HOSSAIN, N.; TROSKIE, C. G. and GUO, R., "Comparisons of The Ex Post Efficient Portfolios Under GARCH (1,1) Modeling and GARCH Model Extensions", Proceedings of the 10th Annual International Conference on Industrial Engineering—Theory, Applications and Practice, Clearwater, 2005, ss.419-425.

gösteren güç spektrumunu kullanmaktır. Bu süreç, otokovaryans fonksiyonunun Fourier dönüşümü olarak gösterilebilir. Güç spektrumu serilerdeki ardışık bağımlılığı göstermede ve döngüsel (periyodik) olaylar ile bunlara ait modellerin ortaya konmasında faydalı bir araç olarak kullanılmaktadır¹³². Zaman serilerinin içinde sabit ortalama ve varyansa sahip olan bileşenlerinin periyot (θ_j), faz (b_j) ve yüksekliği (a_j) uygun bir şekilde tahmin edilip seriden uzaklaştırıldığında, kalanın bağımsız rastgele bir seri olması gerektiği savunulur. Dolayısıyla verilerin tahmininin sinüs eğrileri model ile yapılması uygun görülmüştür. Bu sinüs eğrileri modeli;

$$x_t = \sum_{j=1}^m a_j \sin\left(\frac{2\pi t}{\theta_j} + b_j\right) + \varepsilon_t, \quad E(\varepsilon_t) = 0, \quad E(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-\tau}) = 0; \quad t, \tau \neq 0 \quad (2.29)$$

şeklinde yazılmaktadır. Kalan ε_t serisinin, t zamanında başlayan değişkeni ile diğer zaman noktalarında başlayan gecikmeli değişkenleri arasında ilişki yoktur. Diğer bir deyişle, seride otokorelasyon yoktur. “Beyaz gürültü” olarak adlandırılan bu serinin beklenen değeri sıfır olduğunda, eğer orijinal serinin de beklenen değeri sıfıra eşit $E(x_t)=0$ ise, varyans;

$$E(x_t^2) = \sigma_t^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m a_j^2 + a_\varepsilon^2 \quad (2.30)$$

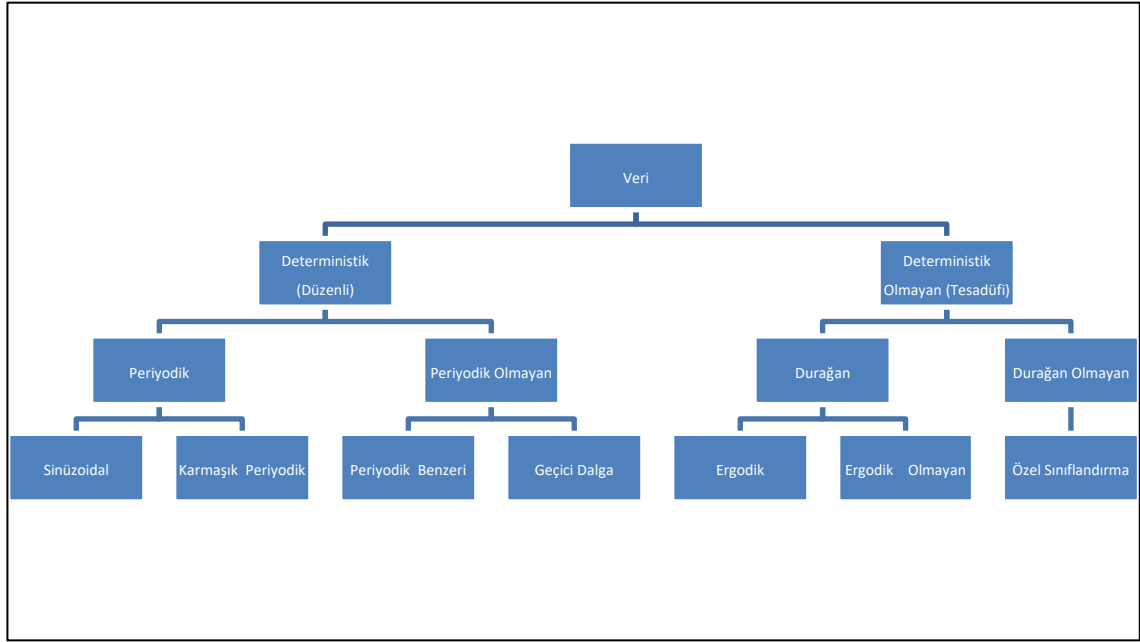
Spektral model ile ilgili geniş bilgi daha sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacağından burada sadece temel açıklayıcı temel formülleri verilmiştir.

Bu çalışmada, konu spektral analiz ile ilgili olduğu için, zaman serilerinin trigonometrik fonksiyon cinsinden ifadesi daha detaylı olarak incelenecektir.

¹³² BRILLINGER, David R., “Time Series: General”, International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences, Cilt 23, 2001, ss.15724–15731.

2.1.2. Zaman Serileri Verileri

Zaman serilerinde kullanılan veriler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. İncelenen konu spektral analiz olduğu için, veriler trigonometrik fonksiyonlar olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.6: Verilerin Sınıflandırılması

Matematiksel fonksiyon olarak tanımlanabilen ilişkiler deterministik veriler; gelecekte alacağı değerleri hesaplanamayan veriler ise, deterministik olmayan veriler olarak tanımlanır.

Bir fiziksel olayı;

$$x(t) = X \cos\left(\sqrt{\frac{k}{t}} t\right) \quad (2.31)$$

şeklinde yazabiliyorsak, bu bir deterministik fonksiyon olarak tanımlanabilir. Deterministik veriler, kesin bir matematiksel bağlantıyla tanımlanabilen verilerdir. Uygulamada pek çok fiziksel olay, belirli bir duyarlılıkta matematiksel olarak tanımlanabilir.

Sinüzoidal bir fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazabiliriz;

$$x(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \Theta); \quad T = \frac{1}{f_0} \quad (2.32)$$

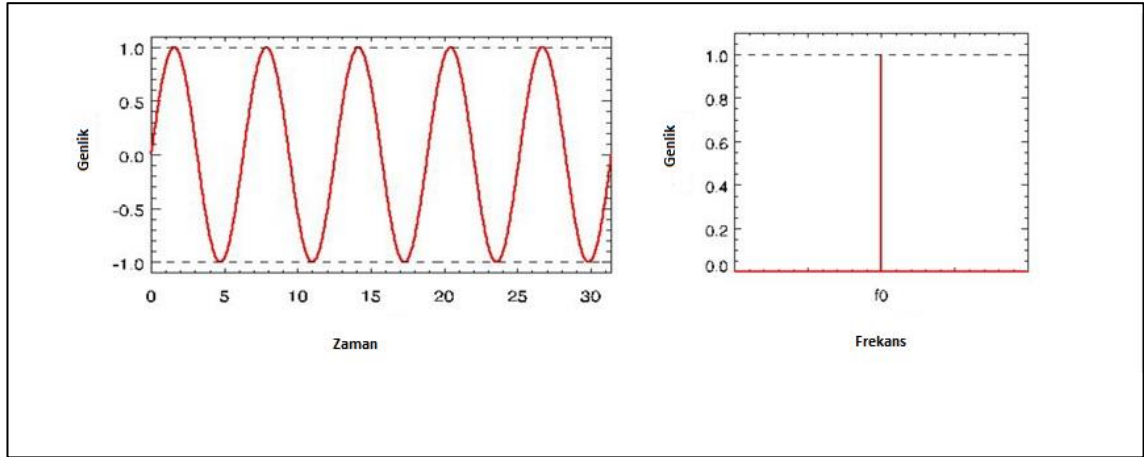
Burada;

A : genlik,

f_0 : frekans,

θ : faz açısı (radyan), olarak gösterilir.

Bu fonksiyonun zaman ve frekans ortamındaki grafikleri ise,



Şekil 2.7: 2.32 Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı

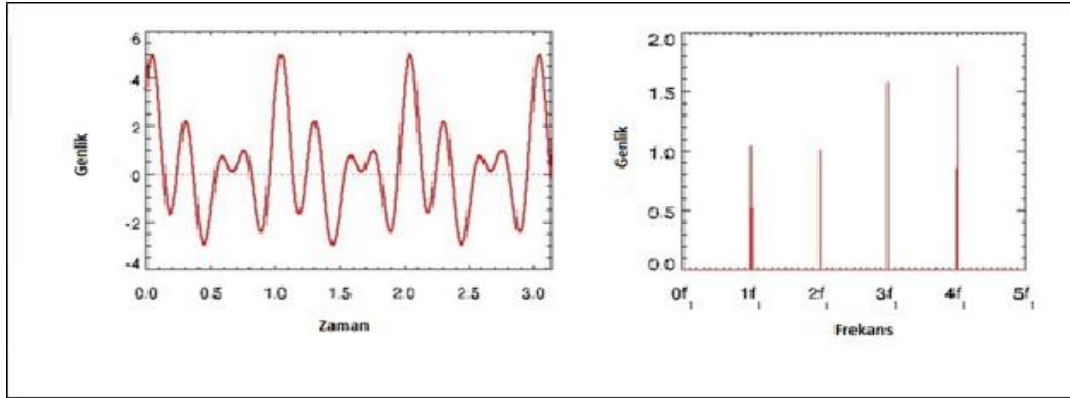
Karmaşık periyodik veri fonksiyonu ise, matematiksel olarak tanımlanabilen ve eşit aralıklarla dalga şekli yinelenen fonksiyonlardır. Fonksiyon olarak aşağıdaki şekilde gösterilir, burada T ana periyoddur;

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum (a_n \cos 2\pi n f_1 t + b_n \sin 2\pi n f_1 t); \quad x(t) = x(t \pm nT), n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.33)$$

Tek bir salınım için geçen zaman, ana periyod diye adlandırılır. Birim zamandaki salınım ise, temel veya ana frekans olarak adlandırılır. Uygulamada, bu tür veri aşağıdaki bağıntıya göre ve daha ilerde detaylı olarak açıklanacağı üzere Fourier serilerine açılabilir;

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos 2\pi n f_1 t dt; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.34)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin 2\pi n f_1 t dt; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.35)$$



Şekil 2.8: 2.33 Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı

Karmaşık periyodik verileri, Fourier Serileri ile göstermenin bir başka yolu da;

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(2\pi n f_1 t - \Theta_n) \quad (2.36)$$

$$X_0 = a_0/2 ; \quad X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} ; \quad \Theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right) ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.37)$$

Bir başka deyişle, karmaşık periyodik veri X_0 statik bileşeni ile harmonik denilen sonsuz sayıda sinüzoidal bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin, yani harmoniklerin genlikleri (*amplitude*) X_n ve fazları Θ_n dir. Frekansları da f_1 frekansının katlarıdır.

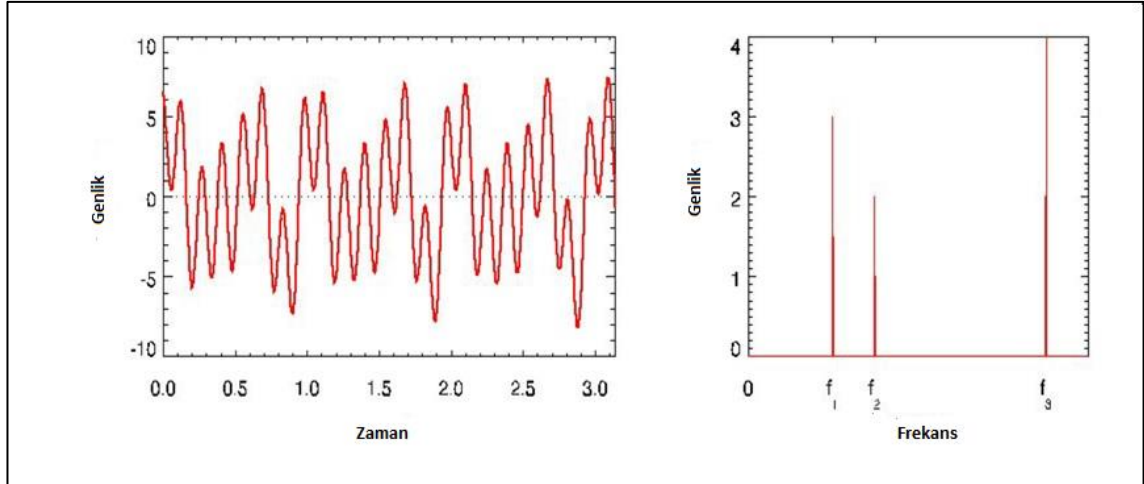
Periyodik olmayan veriler de iki türdür. (i) Hemen hemen (*almost*) periyodik veriler. (ii) Geçici (*transient*) veriler.

Hemen hemen (*almost*) periyodik veriler, periyodik olmayan ancak periyodik benzeri özellik gösteren verilerdir. Bileşenleri periyodik olmasına rağmen frekansları arasındaki ilişki tam sayılar değildir. En büyük ortak bölene sahip olmadıklarından sonsuz uzun T periyodunda salınırlar. Fonksiyonu da yine sinüs fonksiyonları ile ifade edersek, denklemini ve grafikleri aşağıda verilmiştir;

$$x(t) = X_1 \sin(2t + \Theta_1) + X_2 \sin(3t + \Theta_2) + X_3 \sin(\sqrt{50}t + \Theta_3) \quad (2.38)$$

veya

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(2\pi f_n t + \Theta_n) \quad (2.39)$$



Şekil 2.9: 2.39. Fonksiyonunun Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı

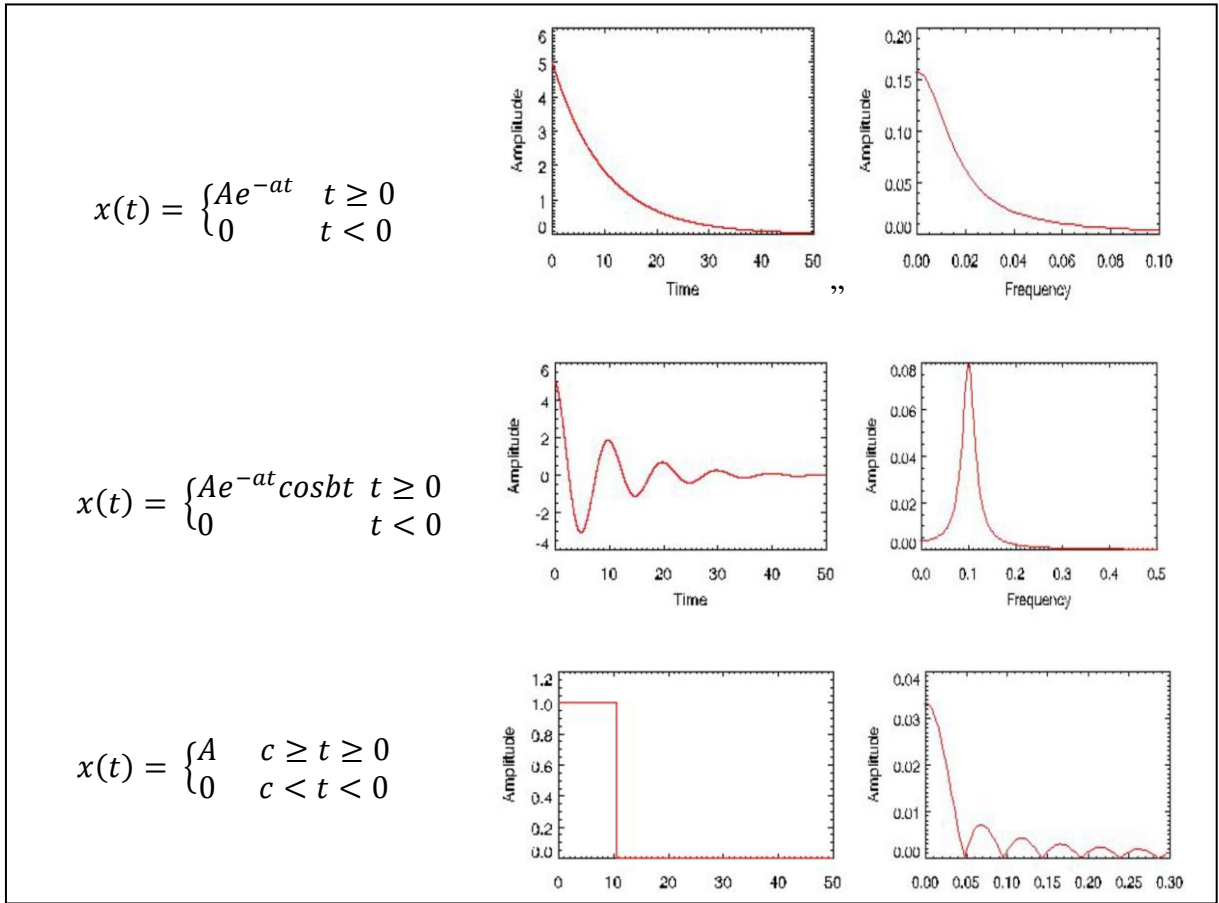
Periyodik olmayan geçici dalgalar ise, uygun bir matematik bağlantıyla gösterilebilen fakat yukarıda anlatılan grupların dışında kalan verilerdir. Gösterimi aşağıdaki şekildedir;

Bu tür verilerin en önemli özelliği, kesikli-ayrık spektral gösterilmelerinin olanaksız olmasıdır. Fakat birçok durumda spektral gösterilişi, Fourier integrali ile mümkündür. Aşağıda eşitliği verilen, ileride detaylı olarak açıklanacak fonksiyonun genliği $|X(f)|$ olarak verilir.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.40)$$

Düzensiz (tesadüfi veya gelişigüzel) veriler ise, matematiksel olarak tanımlanamaz, belirli bir andaki değeri kesin olarak tanımlanamaz, ancak, olasılık veya istatistik değerler ile tanımlanabilir. Gelişigüzel bir olaydan elde edilen örnek fonksiyonların toplamına rastgele süreç (*random process*) veya stokastik süreç (*stochastic process*) denir.

Durağan ve durağan olmayan verilerin ayrımı için örnek fonksiyonlar toplanır ve bu örnekler gruplanır. Örneğin, N adet örnek fonksiyonun her birinde t_1 andaki değerler toplanıp ortalaması alınır veya iki farklı andaki değerlerinin ilişkisini bulmak istersek (buna otokorelasyon denir), iki andaki (t_1 ve $t_1+\tau$) değerlerinin çarpımları toplanıp ortalaması alınır. Veri, teorik olarak bu grupların ortalamaları alınarak elde edilir.



Şekil 2.10: Diğer Fonksiyonların Zaman Düzleminde Gösterimi ve Frekans Düzleminde Spektrogramı

Verinin ortalama değer fonksiyonu (ilk moment);

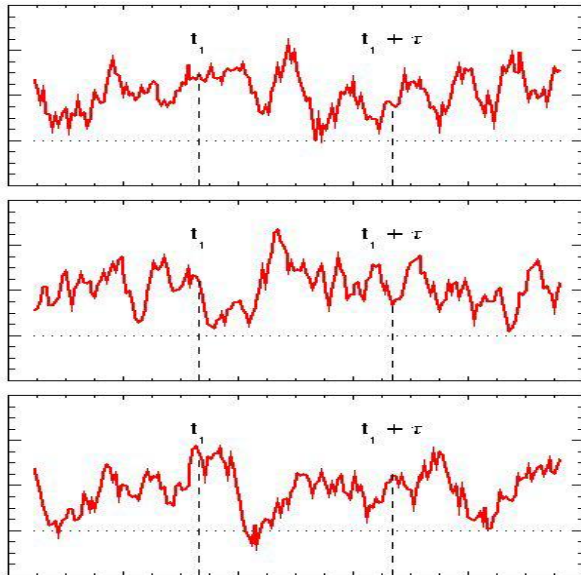
$$\mu_x(t_1) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_1) \quad (2.41)$$

Otokorelasyon fonksiyonu (bileşik moment);

$$R_x(t_1, t_1 + \tau) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_1) x_k(t_1 + \tau) \quad (2.42)$$

Eğer, t_1 değiştikçe μ ve R değişmiyorsa buna durağan denir. Başka bir deyişle, istatistik özellikleri zamanla değişmiyorsa bu tür veriler durağan verilerdir.

Durağanlığı tanım olarak verirsek, ortalaması ve varyansı zaman içinde değişmeyen ve iki dönem arasındaki kovaryansı, bu kovaryansın (otokovaryans) hesaplandığı dönemle ilgili değil de, yalnızca iki dönem arasındaki uzaklığa bağlı olan süreç durağan süreçtir. Bu serilerde zaman başlangıç noktasının seçimi, işlemin istatistiksel özelliklerini etkilemez.



Durağanlık şartı,

$$\mu_x(t_1) = \mu_x, \quad R_x(t_1, t_1 + \tau) = R_x$$

Zayıf durağanlık şartı ise;

$$\mu_x(t_1) = \mu_x, \quad R_x(t_1, t_1 + \tau) = R_x(\tau)$$

Şekil 2.11: Durağan ve Durağan Olmayan Verilerin Grafiği

Ergodik (ölçümkal, döngel) bir rastgele süreç ise; genel uyum içinde olan gruptaki sadece tek bir örnek (numune) fonksiyonun ortalamalarını hesaplayarak durağan rastgele bir sürecin özelliklerinin açıklanmasıdır. Örnekteki N adet fonksiyondan k 'nıncı örnek fonksiyonu ele alalım. k 'nıncı örnek fonksiyonun ortalama değer fonksiyonu;

$$\mu_x(k) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x_k(t) dt \quad (2.43)$$

Otokorelasyon fonksiyonu (bileşik moment);

$$R_x(\tau, k) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \int_0^T x_k(t) x_k(t + \tau) dt \quad (2.44)$$

Ergodiklik şartı;

$$\mu_x(k) = \mu_x, \quad R_x(\tau, k) = R_x(\tau) \quad (2.45)$$

değerleri, diğer fonksiyonlardan bulunanalar ile aynı ise buna ergosite denir. Başka bir deyişle, istatistik özellikler bir gözlemden diğer bir gözleme (örnek fonksiyondan örnek fonksiyona) değişmiyorsa ergodik adı verilir.

Rastgele bir verinin tanımlayıcı şartları aşağıda verilmiştir, bunlar;

- Ortalama karesel değer,
- Olasılık yoğunluk fonksiyonu,
- Otokorelasyon fonksiyonu,
- Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonudur.

Bu şartlardan ilki olan “ortalama karesel değeri” rastgele verinin genel anlamda yoğunluğunu belirler ve şu fonksiyon ile verilir;

$$\psi_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (2.46)$$

Bu fonksiyonun etkin değeri (*root mean square-rms*);

$$\psi_x^{rms} = \sqrt{\psi_x^2} \quad (2.47)$$

Fonksiyonun statik bileşenini, ortalama değer ile ve dinamik bileşenini de varyans ile tanımlamak çoğu zaman kolaylık sağlayabilir. Bu bileşenler sırasıyla;

$$\mu_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (\text{statik bileşen}) \quad (2.48)$$

$$\sigma_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^2 dt = \psi_x^2 - \mu_x^2 \quad (\text{dinamik bileşen}) \quad (2.49)$$

Standart sapma eşitliği ise;

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} \quad (2.50)$$

İkinci şart olan “olasılık yoğunluk fonksiyonu”, verinin, zamanın herhangi bir anında tanımlanan aralıkta bir değer üslenme olasılığını tanımlar. Eşitlikler aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$Prob[x < x(t) \leq x + \Delta x] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_x}{T}, \quad T_x = \sum_{i=1}^k \Delta t_i \quad (2.51)$$

Küçük Δx 'ler için;

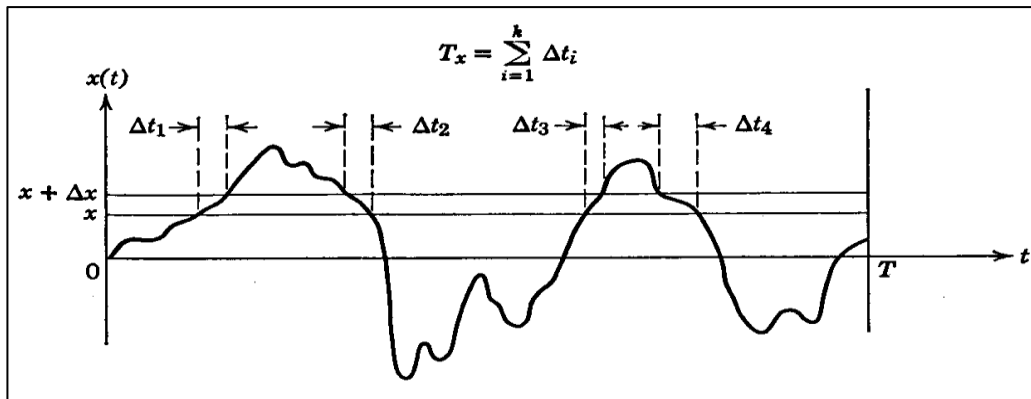
$$Prob[x < x(t) \leq x + \Delta x] \approx p(x)\Delta x \quad (2.52)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{Prob[x < x(t) \leq x + \Delta x]}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta x} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_x}{T} \right] \quad (2.53)$$

Olasılık dağılım fonksiyonu;

$$P(x) = Prob[x(t) \leq x] = \int_{-\infty}^x p\xi d\xi \quad (2.54)$$



Şekil 2.12: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

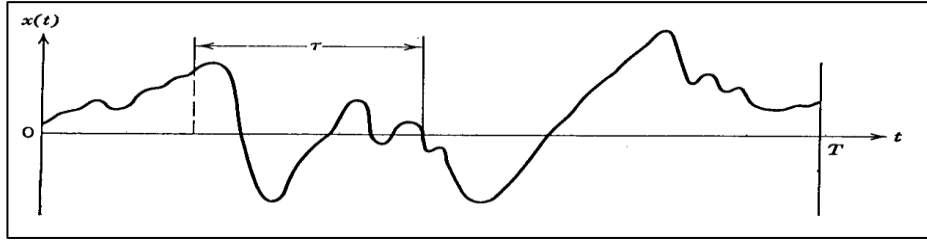
Sinüs dalgası, sinüs dalgası + rastgele gürültü, dar-bant gürültü, geniş-bant gürültü fonksiyonların olasılık yoğunluk fonksiyonları Şekil 2.14'te verilmiştir.

Otokorelasyon fonksiyonu ise, verilerin bir zamandaki değerinin diğer zamandaki değeri arasındaki bağımlılığını tanımlar. Başka bir deyişle, seriyi oluşturan veriler arasındaki ilişkiyi tanımlar. $x(t)$ 'nin t ve $t+\tau$ anındaki değerleri arasındaki ilişki, bu değerlerin çarpımının gözlem süresi T 'ye göre ortalamasının bulunmasıyla elde edilir. T sonsuza yaklaştıkça tam otokorelasyon bulunur. İlgili eşitlikler;

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (2.55)$$

$$\mu_x = \sqrt{R_x(\infty)}, \quad \psi_x^2 = R_x(0) \quad (2.56)$$

Eşitlik 2.56 sinüs dalgası gibi bazı durumlarda geçerli olmayabilir.



Şekil 2.13: Otokorelasyon Fonksiyonu

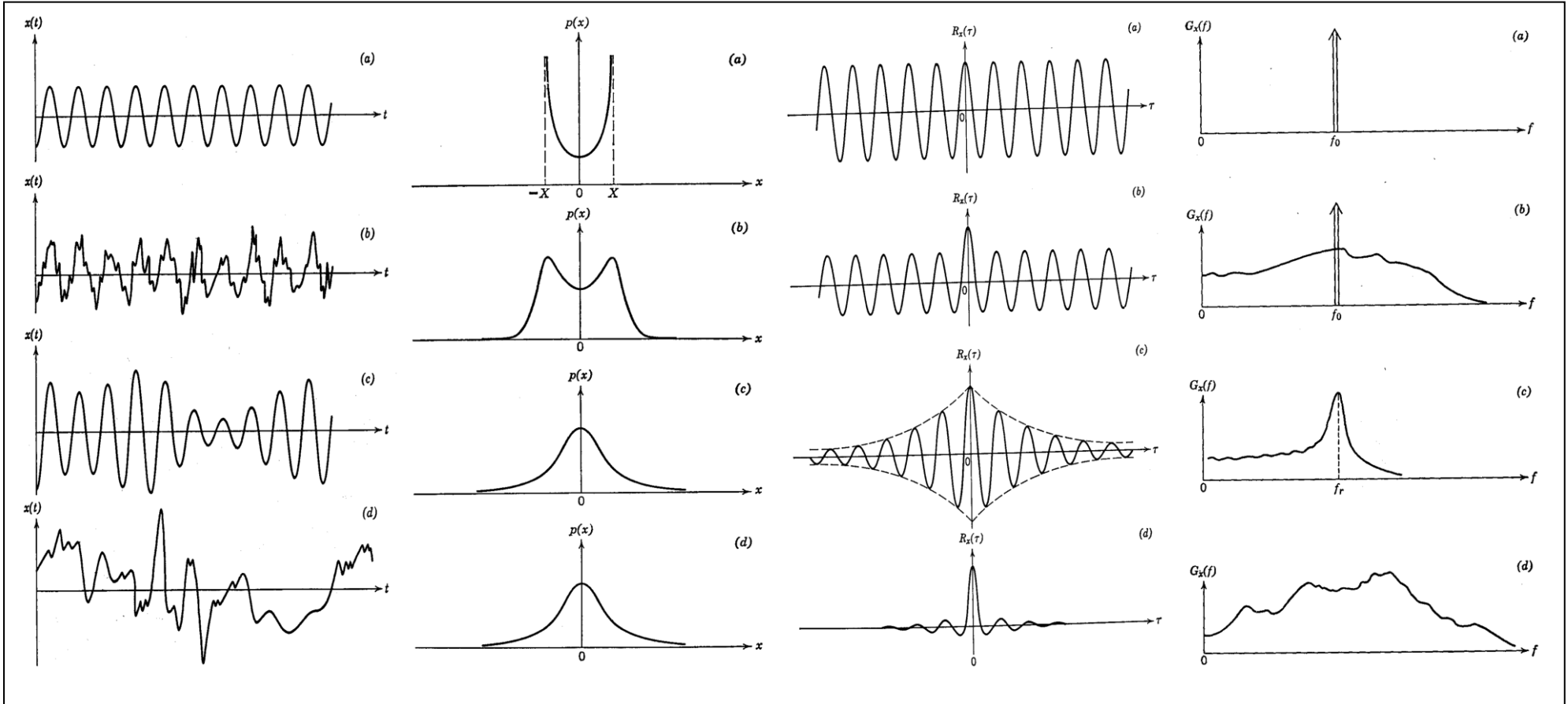
Bütün τ değerleri için, τ 'yu değiştirerek $R_x(\tau)$ 'yu çizerek grafiği elde edilir. Otokorelasyon fonksiyonu, genel olarak, herhangi bir andaki değerlerin, gelecekteki değerleri nasıl etkilediğini, bir de gelişigüzel verilerle örgütlenmiş düzenli veriyi saptamada kullanılır.

Son özellik olan “Güç Spektrum Yoğunluğu”, verilerin genel frekans bileşimini, verilerin ortalama karesel değerlerinin spektral yoğunluğu olarak tanımlar. Güç spektrumu, zaman serilerinde kullanışlı bir parametre olarak, olayın frekans veya periyoda göre yoğunluğunu veya değişkenliğini gösterir. Frekans aralığındaki ortalama karesel değer ($f, f+\Delta f$):

$$\psi_x^2(f, \Delta f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t, f, \Delta f)^2 dt \quad (2.57)$$

Güç Spektrum Yoğunluk fonksiyonu şu eşitlik ile gösterilebilir;

$$\psi_x^2(f, \Delta f) \approx G_x(f)\Delta f \quad (2.58)$$



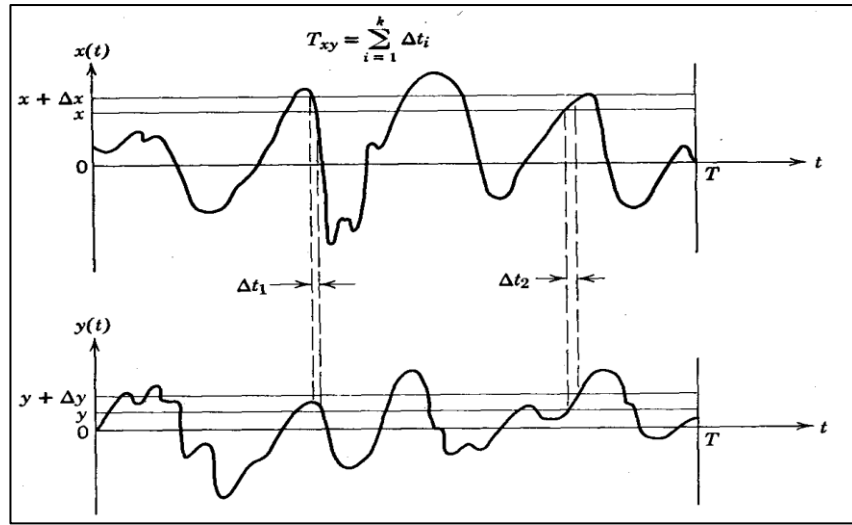
Şekil 2.14: Sinüs Dalgasının (a), Sinüs Dalgası+Rastgele Gürültünün (b), Darband Gürültünün (c), Genişbant Gürültünün (d), Olasılık Yoğunluk Grafiği, Otokorelasyon Grafiği (Otokorelogram), Spektral Güç Grafiği –Her bir fonksiyonun ortalama değeri sıfırdır, $\mu_x=0$

$$G_x(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{\psi_x^2(f, \Delta f)}{\Delta f} = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta f} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t, f, \Delta f)^2 dt \right] \quad (2.59)$$

Önemli bir özelliği olarak, spektral güç yoğunluk fonksiyonu Fourier Transformasyonu ile otokorelasyon fonksiyonuna ilişkilendirilir.

$$G_x(f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau = 4 \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos 2\pi f\tau d\tau \quad (2.60)$$

Tek rastgele verilerin yukarıda verilen özellikleri, birden fazla veri için de incelenebilir, böylece farklı rastgele veriler arasındaki ilişkiler analiz edilebilir. Bileşik olasılık yoğunluk fonksiyonun ortak özellikleri genlik düzleminde; çapraz-korelasyon fonksiyonunun ortak özellikleri zaman düzlemine ve çapraz-yoğunluk fonksiyonunun ortak özellikleri frekans düzleminde incelenir.

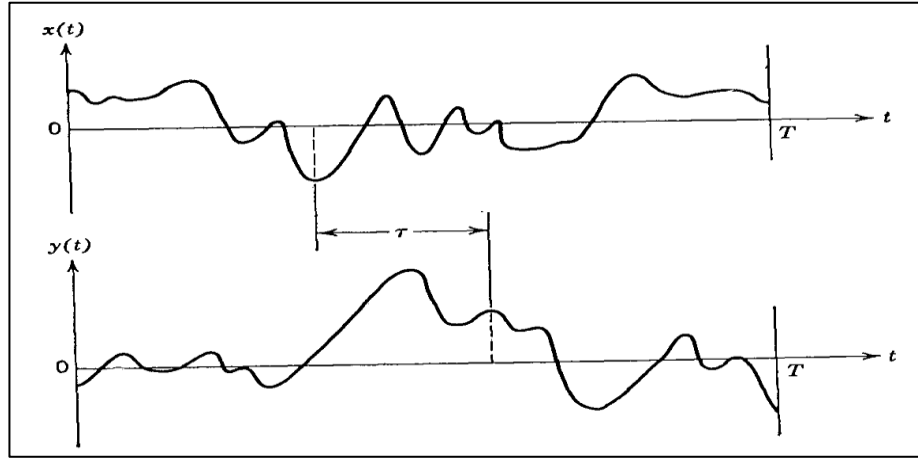


Şekil 2.15: Bileşik Olasılık Ölçümü

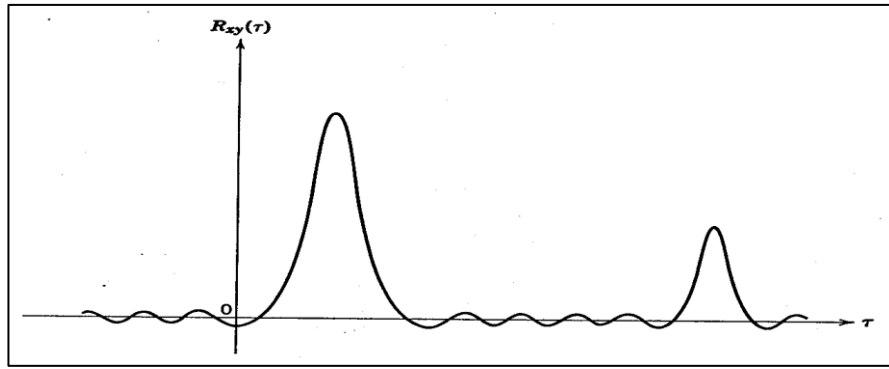
Çapraz-korelasyon fonksiyonu bir verinin diğer veri ile olan bağımlılığını tanımlar. Bu fonksiyon şu şekilde gösterilir;

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t + \tau)dt \quad (2.61)$$

Fonksiyon, otokorelasyon fonksiyonuna benzer olup, $R_x(\tau)=0$ durumunda korelasyonun olmadığı söylenir.



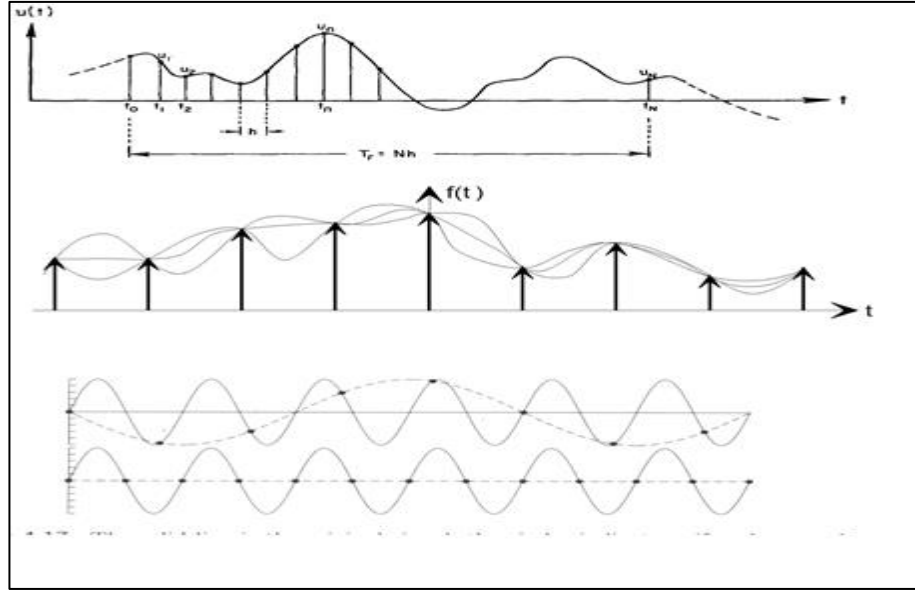
Şekil 2.16: Çapraz-Korelasyon Ölçümü



Şekil 2.17: Tipik Çapraz-Korelasyon Çizimi (Çapraz-korelogram). Keskin Tepeler $x(t)$ ile $y(t)$ Arasında Belli Zaman Farklarındaki Korelasyonun Varlığını Göstermektedir.

Fonksiyonlar ile çalışma yapılmadan önce verileri doğru analiz etmek için ön işlem yapmak gerekebilir. Ön işlemler sırasıyla; örnekleme, trendin ayrıştırılması ve filtreleme yöntemleridir. Bu işlem için fonksiyonun kesme frekansı belirlenir. Kesme frekansı aynı zamanda Nyquist veya katlama frekansı olarak da adlandırılır ve şu şekilde belirlenir:

$$f_c = \frac{1}{2h} \quad (2.62)$$



Şekil. 2.18: Örnekleme Yöntemi İle Önişleme

Trendin ayrıştırılması, pek çok zaman spektral analiz yapmadan evvel gerekli olmaktadır. Trend ayrıştırmak için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Zaman serisinin $u(t)$ olduğu öngörüldüğünde;

İstenen uyum fonksiyonu belirlenir; (örnek olarak 2.65 eşitliği polinom olarak verilmiştir), $u(t)$ zaman serisi için;

$$\hat{u} = \sum_{k=0}^K bk(nh)^k, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (2.63)$$

En küçük kareler uyumuyla;

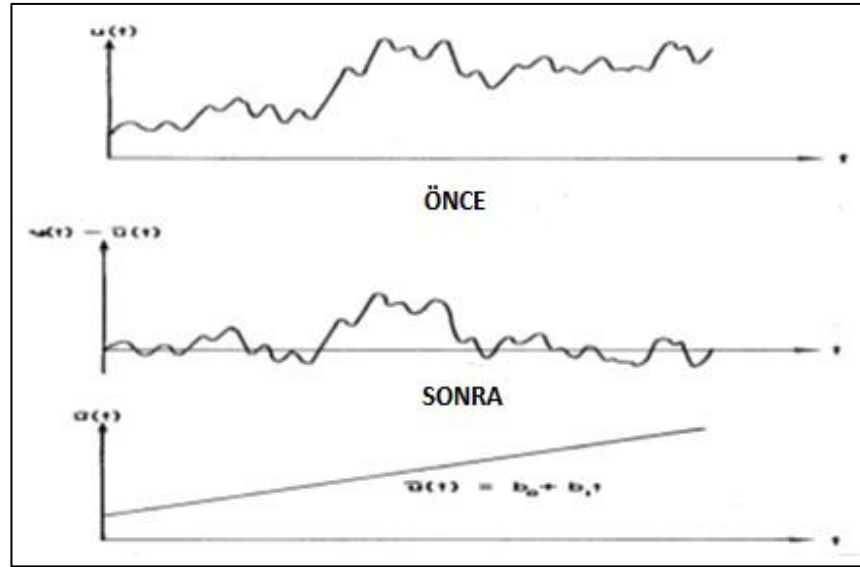
$$Q(b) = \sum_{n=1}^N (u_n - \hat{u}_n)^2 \quad (2.64)$$

Kısmi türevler sıfıra (0) eşitlendiğinde;

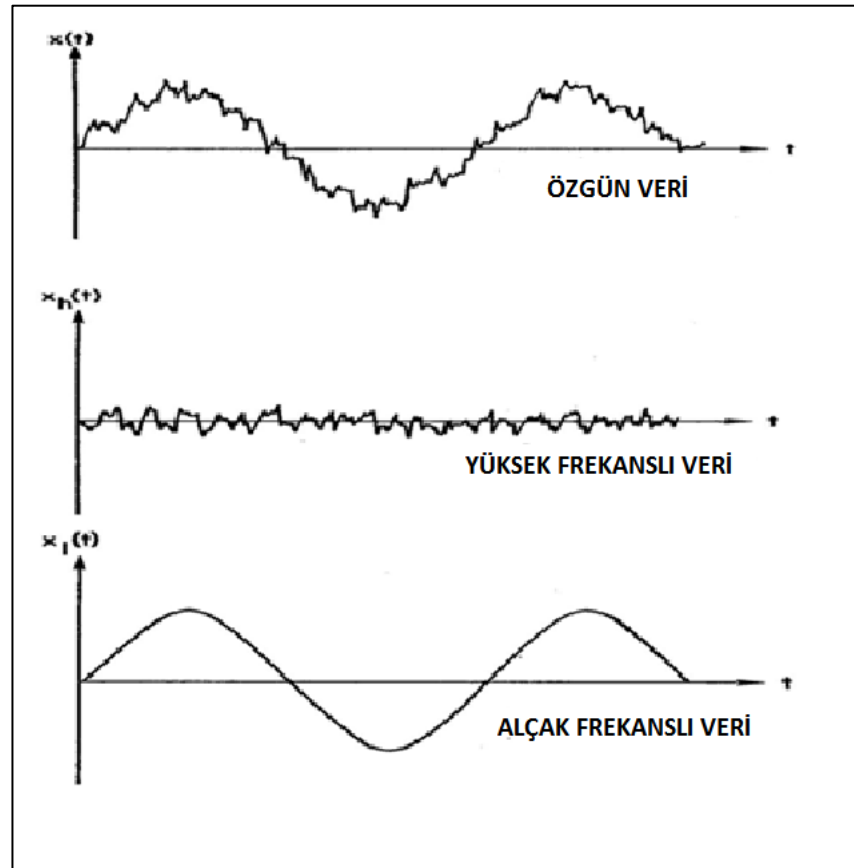
$$\frac{\delta Q}{\delta b_l} = \sum_{n=1}^N 2(u_n - \hat{u}_n)[-(nh)^l] \quad (2.65)$$

Bu durumda K+1 eşitliği;

$$\sum_{k=0}^K b_k \sum_{n=1}^N (nh)^{k+l} = \sum_{n=1}^N u_n (nh)^l \quad (2.66)$$



Şekil 2.19: Trend Ayrıştırma İşleminin Grafik Gösterimi



Şekil 2.20: Dijital Filtreleme Yöntemi İle Ön İşleme

2.1.3. Zaman Serilerinin Çeşitleri

Zaman serileri değişkenlerine göre, tek değişkenli (*univariate*) veya çok değişkenli (*multivariate*) zaman serileri olarak ayrılabilir. Zaman serileri diğer özelliklerine göre de ayrıştırılabilir, ancak özellikle ekonomik verilerin analizi yapılırken, farklılık gösterecek temel konu değişkenlerin sayısı olacağından, bu ayırım bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.3.1. Tek Değişkenli Zaman Serileri

Matematikte tek değişkenlik sadece, bir değişkenin oluşturduğu ifadeye, denkleme, fonksiyona veya polinoma karşılık gelir. İstatistik biliminde çok kullanılan bu tanım, bir değişkenli bir dağılımı, birçok değişkenli bir dağılımdan ayırmak için kullanılır.

Eğer bir zaman serisi tek değişkenli bir hareketi içeriyorsa, bu tür seriler tek değişkenli zaman serisi (*univariate time series*) olarak adlandırılır. Bu tür zaman serilerinin analizine de tek değişkenli zaman serisi analizi (*univariate time series analysis*) adı verilir.

Uygulamalarda, tek değişkenli zaman serileri, ilgilenilen serinin farklı zamanlarında yapılan ölçümlerden oluşur. Bu ölçümler, genellikle eşit zaman aralıkları ile yapılırlar ve bu tür tek değişkenli zaman serileri de ayrık zaman serileri (*discrete time series*) olarak adlandırılırlar. Ölçüm yapılan zaman genellikle t ile gösterilir. Eğer t sürekli ise bu durumda zaman serisi, sürekli zaman serisi (*continuous time series*) olur ve seri stokastik süreç haline gelir.

Tek değişkenli zaman serilerinin temel amacı, X_t ile X_t 'nin geçmiş değerleri arasında $\{ X_{t-1}, X_{t-2}, \dots \}$ dinamik bir bağlantının olup olmadığının tespitidir. Doğrusal modellerde X_t geçmiş değerlerle bağlantılıdır.

Spektral analiz bakımından incelendiğinde ise, bir tek değişkenli zaman serisinin tahmin edilen güç spektrumu içinde, en fazla güç taşıyan frekans, seriyi tanımayan döngüyü temsil edebilir. Zirve yakalama (*peak hunting*) olarak da tanımlanan bu süreç, tek değişkenli zaman serileri için spektral analizin en temel kullanım alanıdır¹³³.

¹³³ PERCIVAL, John R., "Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time", Working Paper No: 10-76, University of Pennsylvania, The Wharton School, 1973.

2.1.3.2. Çok Değişkenli Zaman Serileri

Tek değişkenli zaman serilerine göre, bir zaman serisi birden fazla değişkenli bir hareketi inceliyorsa, bu tür serilere de çok değişkenli (*multivariate time series*) olarak adlandırılır. Bu tür zaman serilerinin analizine de çok değişkenli zaman serisi analiz (*multivariate time series analysis*) adı verilir.

Pek çok çalışma birden fazla zaman serisi verisi içerebilmektedir. Bu zaman serileriyle yapılacak çalışma, zaman serisinin özelliğine göre iki farklı şekilde analiz edilebilir. Birincisi, tüm zaman serilerinin verileri tek bir zaman serisi olarak toplanabilir ve spektral analiz bu toplam zaman serisine uygulanır. İkincisi ise, spektral analiz her bir zaman serisine ayrı ayrı uygulanır ve sonuçlar özetlenir¹³⁴.

Eğer tüm konular aynı şartlar altında gözlemlendiye, başlangıç ve bitiş zamanları aynı, benzer döngüsel desenler içeriyorsa bu durumda tüm serileri tek bir zaman serisine toplamakta fayda vardır. Bunun için, tüm konular için toplanan veya gözlenen değerlerin ortalamasını aldıktan sonra, bu ortalama değere spektral analiz uygulanır. Bu şekilde, eldeki veriler tek değişkenli zaman serisine dönüşeceği için, tek değişkenli zaman serisi analiz yöntemleri uygulanır.

İkinci durumda ise, zaman serileri farklı gözlem sayısı içeriyor, farklı zamanlarda başlayıp bitiyor, genlik, döngü boyu gibi temel ölçütleri birbirinden farklı ise, bu durumda her bir veriyi ayrı ayrı analiz etmek gereklidir. İncelenen her bir olayın veya konunun zaman serilerinin spektraları tahmin edildikten sonra, toplam spektra alınır. Bu toplam spektra, konuların sayısına bölünerek ortalama spektra bulunabilir. Güç spektrumu her bir zaman serisinin toplam varyansı ve çeşitli frekansların bağlı katkısına göre değiştiğinden, ortalama spektrayı hesaplamadan önce her bir spektrayı standartlaştırıp tek bir forma çevirmek faydalı olacaktır. Bu işlem şu şekilde yapılabilir. Her bir spektral tahmini, her bir frekanstaki varyans yüzdesinin tahminine çevirmek için her bir spektral tahmin, her bir zaman serisinin spektral tahminleri toplamına bölünür. Standartlaştırılmış spektraların birlikte ortalaması alındığında, her bir konuya eşit ağırlık verilir. Eğer ham spektraların ortalaması alınmış olursa, zaman serilerinde toplam varyansı fazla olan konular daha ağırlıklı olarak sayılırlar¹³⁵.

¹³⁴ WEST, Stephen G.; HEPWORTH, Joseph T., "Statistical Issues in the Study of Temporal Data: Daily Experiences", *Journal of Personality*, 1991, Cilt 59, Sayı 3, ss.609-662.

¹³⁵ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, s.102.

Çok değişkenli zaman serilerinin analizinde Uyumlu Fazı Bulma (*coherence-phase finding*), iki seri arasındaki çapraz spektrumu tahmin ederek, birbiriyle en fazla uyumlu olan frekansları bulmayı amaçlar. Bu en fazla uyumu sağlayan frekans, her iki seriyi de tanımlayan döngüyü belirler. Daha sonra da, bu frekanstaki faz açısı öncül ile takipçi ilişkisini (*lead-lag relationship*) belirlemede kullanılır¹³⁶.

2.1.4. Ekonomik Zaman Serilerinin Analizi

Günümüzde kamu ve özel kuruluşlar, işletmeler ya da şirketler hatta şahıslar geleceğe yönelik araştırmalar yaparak, gelecekte beklenen koşullara göre bugünden önlemlerini alabilmeyi istemektedirler. Başka bir deyişle, günlük kararların alınabilmesi için bile gelecek hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

Gelecek olayları ya da koşulları tahmin etmeye öngörü denir. Öngörü, karar verme sürecinde vazgeçilemez bir unsurdur. Örneğin, hükümet politikalarının oluşturabilmesinde işsizlik oranı, enflasyon oluşturabilmesinde işsizlik oranı, enflasyon oranı, vergi oranı, elektrik tüketimi, kişi başına düşen milli gelir gibi ülkenin özelliklerini ortaya çıkarabilecek iktisadî faktörler ile ilgili öngörülerde bulunulmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu öngörü işlemi sonucunda, ülkenin hangi alanlarda gelecekteki sorunları artacak gibi gözüküyorsa o alanlarda sorunları çözümlenebilecek ilgili politikalar geç kalınmadan hükümet tarafından yürürlüğe konulabilmektedir. Şirketlerde de genel olarak, pazarlama bölümlerinde, finans ile ilgili birimlerde, personel işleri dairesinde, üretim plânlama bölümünde, süreç kontrol sektöründe öngörü işleminden yararlanılmaktadır.

Öngörü işlemi ile geçmişteki bilgilerden yararlanılarak geleceğe ait tahmin yapılmaktadır. Dolayısıyla, öngörü yöntemleri tecrübeye, kararlara, bilirkişilerin düşüncelerine dayanmaktadır. Bu tür öngörü yöntemlerine genel olarak nitel (kalitatif) yöntemler adı verilmektedir. Diğer yöntem ise, öngörü yöntemleri subjektif kararlardan ziyade, elde edilen verilerin yapısını açıklayabilen istatistiksel modellere dayanan nicel (kantitatif) yöntemlerdir.

Zaman serileri analizinin içerdiği yöntemler de nicel yöntemler olmaktadır. Dolayısıyla, zaman serileri analizi zaman içinde düzenli aralıklarla gözlemlenen

¹³⁶ PERCIVAL, John R., "Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time", Working Paper No: 10-76, University of Pennsylvania, The Wharton School, 1973.

verilerin istatistiksel olarak incelenmesini ve gelecek dönemlerde elde edilebilecek verilerin öngörüsünün güvenilir bir şekilde yapılabilmesini içermektedir. İktisadî verilerin önemli bir kısmı zaman serilerinden ibarettir. Örneğin, günlük hisse senedi fiyatları, aylık ithalat ve ihracat rakamları, aylık enflasyon oranları, yıllık ortalama gelirler, aylık enflasyon oranları, yıllık ortalama gelirler, aylık, üç aylık ve yıllık faiz hadleri, firmaların aylık satış rakamları, sektörel üretim miktarları, yıllık istihdam oranları, yıllık işsizlik oranları vb. dönemler itibariyle farklı alanlarda çok sayıda zaman serisi derlenebilir.

Ekonomideki dalgalanmalar, birinci bölümde “Menkul Kıymetlerde Dalgalanma ve Verilerin Toplanması” kısmında incelenmiştir. Bir zaman serisi ise, belirli ve düzenli aralıklarla ve zamanın akışına göre yapılmış gözlemler kümesi olduğundan, düzenli dalgalanmalar içeren zaman serilerinin analizi için kullanılan yöntemler, trendi olmayan veya trendden arındırılmış serilere uygulanabilmektedir. Bu yöndeki çalışmaların temel amacı, sürekli gözlemlenen düzenli dalgalı serileri temsil edebilecek istatistiksel modellerin belirlenmesi ve ilgili parametrelerin temin edilmesidir. Bu amaçla, gözlenen dalgalanmaların tamamen rastgele bir süreç olup olmadığını belirlenmesi için çeşitli otokorelasyon ve trend testleri kullanılır.

Geleneksel zaman serisi analizi, öncelikle zaman serilerinin bileşenleri olan trend, konjonktür dalgalanmalar, mevsimlik hareketler ve rastgele hareketleri izole etmek amacı gütmüştür. Kuznets (1934) çalışmasında basit toplamlardan oluşan bu bileşenlerin, uygun matematiksel yöntemler kullanılarak birbirlerinden bağımsız olarak tahmin edilebileceklerini ileri sürmüştür. Bu yaklaşım artık eskimiş olsa da başlangıç noktası olarak kullanılmaktadır.

Zaman serilerinde çok sık karşılaşılan diğer bir kalıp otokorelasyonlu yapılarıdır. Bilindiği gibi korelasyon iki değişken arasındaki birlikte hareket etmenin veya nedensel olmayan bir ilişkinin ölçüsüdür. Otokorelasyon ise, kavramsal olarak bir serinin herhangi bir dönemdeki değeri ile bir önceki veya bir sonraki dönem değeri arasında birlikte hareket etme ilişkisini ima eder. Örneğin, herhangi bir seride yüksek düzeyde bir otokorelasyon varsa ve seri aylık gözlemlerden oluşuyorsa, serideki cari ayın gözlem değeri ile bir önceki ayın gözlem değeri arasında nedensel olmayan bir ilişki söz konusu olacaktır. Örneğin, tüketici tercihlerine ilişkin bir seride marka bağımlılığı ve psikolojik tercihler nedeniyle talebin daha yavaş değişmesine yol açabilir. Eğer bir seri

otokorelasyonlu ise trend ve mevsimsellik nedeniyle diğer sistematik etkileri göz önünde bulundurmak gerekir. Ekonomide negatif otokorelasyonlu seriler, pozitif otokorelasyonlu serilere nispetle çok daha az gözlenir. Bu tür serilerde çok düşük ve çok yüksek gözlem değerleri birbirlerini izler.

İncelenen ilk zaman serileri meteorolojik seriler ve astronomik hareketler olduğundan serilerin düzeltilesi ile ilgili çalışmalar, bu serilerin sabit ortalama ve varyansa sahip olduklarını göstermiştir. Düzenli dalgalanmalara sahip bu serilerin periyod “ p ”, faz “ β ” ve yüksekliği “ α ” uygun biçimde tahmin edilip seriden uzaklaştırıldığında, kalanın bağımsız rastgele bir seri olması gerektiği düşünülmüştür. Dolayısıyla verilerin tahminin, sinüs eğrileri modeli ile yapılması uygun görülmüştür. Bu sinüs eğrileri modeli aşağıdaki şekilde yazılmaktadır;

$$x(t) = \sum_{j=1}^m a_j \sin\left(\frac{2\pi}{p}t + \beta_j\right) + \varepsilon_t \quad (2.67)$$

$$E(\varepsilon_t) = 0, \quad E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-\tau}) = 0; \quad t, \tau \neq 0 \quad (2.68)$$

Burada;

α : Sinüzoidal dalganın genliğini,

p : Periyot, döngünün devir süresini,

β : Faz açısını, göstermektedir.

Kalan ε_t serisinin, t zamanından başlayan değişkeni ile diğer zaman noktalarında başlayan gecikmeli değişkenleri arasında ilişki yoktur. Diğer bir deyişle, seride otokorelasyon yoktur. “Beyaz gürültü” olarak adlandırılan bu serinin beklenen değeri sıfır olduğunda, eğer orijinal serinin de beklenen değeri sıfıra eşit $E(x_t) = 0$ ise varyans;

$$E(X_t^2) = \sigma_t^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m a_j^2 + \sigma_\varepsilon^2 \quad (2.69)$$

şeklinde hesaplanır.

Ancak, ekonomik zaman serilerinde astronomi ve meteorolojide olduğu gibi kesin periyotlar yoktur. Bu tip zaman serilerinde düzenli dalgalanmaların üst üste binmesi ve rastgele hareketlerden dolayı, var olan dalgalanmalar belirlenemeyip, gizli

kalabilir. Araştırmacılar tarafından, serilerde gizli kalmış periyotları ortaya koymak amacıyla pek çok yöntem önerilmiştir. Lagrange (1972 ve 1978), Buys-Ballot ve E.T. Whittaker'ın çalışmaları yanında aşağıda daha açık bir şekilde belirtilen, Sir Arthur Shuster 1898-1906 tarafından önerilen periyodogram metodu kendine yer edinmiştir. Rastgele ve ekonomik seriler için tahmin edilmiş periyodogram örnekleri Davis'in eserinde bulunmaktadır. Bu örneklerin arasında bulunan, Sir William Beveridge tarafından tahmin edilen Avrupa buğday fiyatları ile ilgili periyodogram ile en azından 20 gizli tepe noktası görülmüş, ancak bunların sadece beş tanesinin anlamlı olabileceğine dair bulgular elde edilmiştir. Rastgele tasarlanmış serilerde bile periyotmuş gibi gözükten tepe noktalarının varlığı gözlenmiştir.

Diebolt ve Doliger (2006) çalışmalarında, periyodogram analizi ve spektral analiz yöntemlerini kullanarak 15 OECD ülkesinin kişi başı GSMH'sini incelemişlerdir. Çalışmada konjonktür döngülerin, ne Kitchin veya Juglar tipi kısa, ne de Kondratieff tipi uzun döngüler olmayıp, 15-20 yıllık sürelerden oluşan döngülerden oluştuğunu göstermişlerdir. Bu da, Kuznets tarafından önerilen ve ekonomik olayların demografik mekanizmalara olan tepkisini açıklayan görüşle uyuşmaktadır. Çalışmada, demografik hareketler ve işgücü piyasası arasındaki ilişkiyi; üretim döngüsü (iş ve istihdam), Philips etkisi (işsizlik ve ücretler) ve tüketim fonksiyonu (talep ve gelir) mekanizmaları ile göstererek, bu mekanizmaların incelenen ülkelerin konjonktür dalgalanma (*business cycles*) periyotları arasındaki farklılığa neden olduğunu tespit etmişlerdir¹³⁷.

Zaman serileri çalışmaları 19ncu y.y.'da daha çok gözlenmeyen bileşenler üzerineyken, bu çalışmalar 20nci y.y.'da daha çok parametrik modellerin temel alındığı olasılık teorisiyle yapılmıştır¹³⁸. Aslında ekonomik zaman serilerinin analizinde her iki kavramı da birlikte kullanmak daha verimli sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Bu bölümün alt başlıklarında, bu iki görüşe göre ortaya çıkarılmış pek çok analiz yöntemi anlatılmaktadır. Spektral analizi geçmeden evvel, spektral analize temel oluşturmak amacıyla bazı yöntem ve testleri gözden geçirmek faydalı olacaktır.

¹³⁷ DIEBOLT, Claude; DOLIGER, Cédric, "Economic Cycles under Test: A Spectral Analysis", Kondratieff Waves, Warfare and World Security, NATO Security through Science Series E, Cilt 5, IOS Press, Amsterdam, 2006, ss.39-47.

¹³⁸ NERLOVE, Marc; GREYER, David M.; CARVALHO, José L., "Analysis of Economic Time Series. A Synthesis", gözden geçirilmiş baskı, Academic Press, San Diego, 1995, ss.22-23.

2.1.4.1. Durağanlık

Zaman serilerinin en önemli özelliklerinden biri durağan, ya da durağan olmama durumudur. Durağanlık ortalamasıyla, varyans ve ortak varyansı zaman içinde değişmeyen ve iki dönem arasındaki ortak varyansın bu ortak varyansın hesaplandığı döneme değil de yalnızca iki dönem arasındaki uzaklığa bağlı olan olasılıklı bir süreçtir¹³⁹. Durağanlık, serilerin sabit bir ortalamaya, sabit bir varyansa ve gecikme seviyesine bağlı bir kovaryansa sahip olmasını ifade eden bir kavramdır. Durağanlık, zaman serisi verilerinin belirli bir zaman sürecinde sürekli artma veya azalmanın olmadığı, verilerin zaman boyunca bir yatay eksen boyunca saçılma (*scatter*) gösterdiği, biçiminde tanımlanır. Diğer bir anlatımla, sabit ortalama, sabit varyans ve seriye ait iki değer arasındaki farkın zamana değil, yalnızca iki zaman değeri arasındaki farka bağlı olması şeklinde ifade edilir.

Durağan özellik gösteren veya birim kök içermeyen zaman serileri her gecikme dönemi için sabit bir ortalamaya, varyansa ve kovaryansa sahip serilerdir. Bir zaman serisinin durağan olup olmadığını anlamak için öncelikle serinin grafiğine bakılmaktadır. Grafik, incelenen zaman serisinin artan ya da azalan bir trend gösterip göstermediği konusunda bir ön bilgi verebilir. Zaman serilerinin durağanlık araştırmasında ikinci adım; serinin otokorelasyon fonksiyonunun ifadesi olan korelogram tablosuna bakılır. Eğer bir zaman serisi durağan ise otokorelasyon fonksiyonunun birinci veya ikinci gecikmede sıfırı kesmesi gerekir. Bir seride gecikme sayısı artırıldığında otokorelasyon fonksiyonunun aldığı değerler sıfıra yaklaşıyorsa seri durağandır, aksi halde durağan değildir. Durağanlık araştırmasında üçüncü adım; birim kök testleridir¹⁴⁰. Birim kök bulunan bir seri, rastgele yürüyüş özelliği gösteren bir seri olarak ifade edilir ve zayıf formda etkinliğinin kabul edilmesini gerektirir. Durağan bir seride ani şoklar sonucu ortalama (veya trend) değerinden sapmalar olsa dahi, değerler zamanla ortalama (veya trend) değerine yaklaşır. Bu trendden geçici sapmalar olsa bile, zaman içinde serilerin trend değerine döneceği, şokların bertaraf edileceği anlamına gelir. Ancak değişkenler üzerindeki etkileri birkaç dönemde yok olan geçici şokların yanında, etkileri uzun süre devam eden kalıcı şokların varlığı da bilinmektedir. Birim kökün varlığı bu kalıcı şokları işaret eder. Çünkü, kalıcı şokların oluşturduğu trend, serinin belirli bir değere doğru yaklaşmasını engellemektedir. Değişkenlerin belirli bir

¹³⁹ GUJARATİ, Damodar N., “Temel Ekonometri”, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001, s.713.

¹⁴⁰ BOZKURT, Hilal, “Zaman Serileri Analizleri”, Ekin Yayınları, Bursa, 2007, ss.31-33.

değere yaklaşması olarak tanımlanan durağanlık açısından, bu trend durağan olmayan bir özellik taşır ve şokların tanımını gereği, önceden öngörülemeyen tesadüfi niteliğinden dolayı bu trend, stokastik trend olarak adlandırılır¹⁴¹.

Uygulamalı istatistik ve ekonometride kullanılan zaman serileri, zamanın belirli aralıkları ile yapılan ölçüm ve gözlemlerle oluşmaktadır. Dolayısı ile sürekli yeni bilgilerle zaman serilerinin birim sayısı artmaktadır. Zamanın $t-\tau$ anında yapılan parametre tahminleri ile t anında yapılan parametre tahminleri aynı sonucu vermeyebilir. Ancak, zaman serisi analizinin temel amacı olan öngörü tahminlerinin yapılabilmesi için geçmiş dönemlere ait verilerle yapılan parametre tahminlerinin, ileriki dönemler için de değişmeyeceği varsayılmaktadır. Sonuç olarak, bütün t ve $t-\tau$ zamanları için sonlu bir ortalama ve varyansa sahip olan stokastik bir süreç durağan veya kovaryans durağan olarak adlandırılır¹⁴².

$$E(X_t) = E(X_{t-\tau}) = \mu \quad (2.70)$$

$$E[(X_t - \mu)^2] = E[(X_{t-\tau} - \mu)^2] = \sigma_x^2 \quad (2.71)$$

$$var(X_t) = var(X_{t-\tau}) = \sigma_x^2$$

$$E[(X_t - \mu)(X_{t-\tau} - \mu)] = E[(X_{t-j} - \mu)(X_{t-j-\tau} - \mu)] = \lambda_\tau \quad (2.72)$$

$$cov(X_t, X_{t-\tau}) = cov(X_{t-\tau}, X_{t-j-\tau}) = \lambda_\tau$$

Eşitlik 2.72’te $\tau=0$ kabul edilmesi ile λ_0 , X_t serisinin varyansına eşit olacaktır. Literatürde kovaryans durağan süreç kavramı, aynı zamanda hafif durağan, ikinci dereceden durağan ve geniş anlamda durağan süreçler için de kullanılmaktadır.

*“Ancak güçlü bir durağanlık, sonlu ortalama ve/veya varyans şartını gerektirmez. Çünkü durağanlık, (X_t, X_{t-1}, \dots) gözlemlerinin bütün kümelerinin birleşik dağılımının, gözlemin yapıldığı zamana göre değişmez olmasını gerektirir. Bu terminoloji, hafif durağanlığın güçlü durağanlığa göre daha kısıtlı şartlar taşıdığını belirtmektedir.”*¹⁴³

¹⁴¹ TARI, Recep, “Ekonometri”, Alfa Basım Yayım, İstanbul, 2002, ss.367-369.

¹⁴² ENDERS, Walter, “Applied Econometric Time Series”, John Wiley & Sons Inc, New York, 1995, s.69.

¹⁴³ GREENE, Williams H., “Econometric Analysis”, 3ncü Baskı, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, 1997, s.827.

Kovaryans durağan bir seri için X_t ve $X_{t-\tau}$ arasındaki otokorelasyon $\rho_\tau = \lambda_\tau / \lambda_0$ olarak tanımlanır. Tahmin edilen kovaryans değerleri λ_τ ve λ_0 zamana göre bağımsız olduklarından otokorelasyon katsayısı ρ_τ tahmini de zamana göre bağımsız olacaktır. Bu arada, birinci dereceden otokorelasyon ile ikinci dereceden otokorelasyon farklı olsa da, X_t ve X_{t-1} arasındaki otokorelasyon ile $X_{t-\tau}$ ve $X_{t-\tau-1}$ arasındaki otokorelasyon aynı kalmalıdır. Diğer taraftan aynı mantıkla $\lambda_\tau = \lambda_{-\tau}$ olduğu söylenir. Dolayısıyla, durağanlık, otokovaryansların t 'nin değil τ 'nin bir fonksiyonu olduğu belirtilmektedir¹⁴⁴.

Zaman serilerinin durağan olmaması durumunda, zaman serileri trend içerecektir. Bu durumda zaman serilerinin kullanılacağı öngörümleme ve regresyon denklemlerinde sahte regresyon benzeri durumlar ortaya çıkacaktır. Zaman serileri durağan değilse, stokastik (tahminlenemeyen) ya da deterministik (tahminlenebilen) trend içermektedirler. Ancak, seri üzerinde uzun dönemde deterministik bir trendin varlığı ile düzensiz modellerde zaman içinde ortaya çıkan ve bir müddet sonra kayıp olan trendler birbirinden farklıdır.

Deterministik trend, oldukça uzun bir dönemde ortaya çıkan ve yükseliş ve alçalış zikzakları arasında belli bir yöndeki uzun dönemdeki eğilimi ifade etmektedir. Zaman serisi içerisinde trendin bütünü ile kestirilebilir oluşu deterministik trende işaret etmektedir¹⁴⁵;

$$Y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon \quad (2.73)$$

Söz konusu denklem bize durağan olmayan bir zaman serisi içerisindeki deterministik trendi tarif etmektedir. Eğer rastgele yürüyüş (*random walk*) modelini ifade edecek olursak¹⁴⁶;

$$Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon \quad (2.74)$$

eşitliği ile stokastik bir trendi ifade etmiş oluruz. Yine stokastik ve deterministik trendle birlikte gösterimi de mümkündür¹⁴⁷. Ayrıca, söz konusu denklemde yer alan sabit

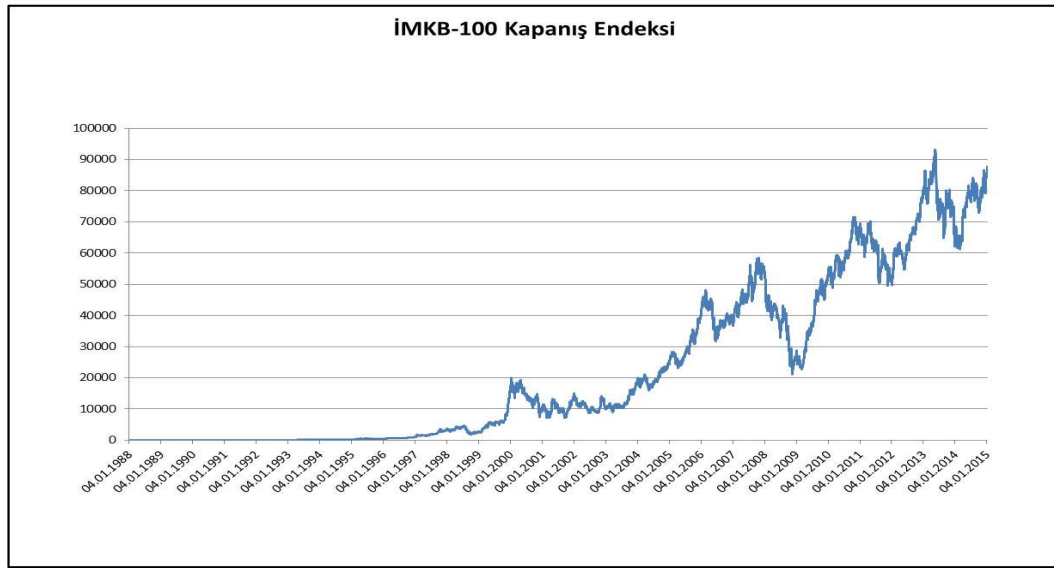
¹⁴⁴ GREENE, Williams H., age., s.828.

¹⁴⁵ DİEBOLD, Francis X.; SENHADJİ, Abdelhak S., "Deterministic vs Stochastic Trend in US GNP, Yet Again", NBER Working Series, Working Paper 5481, Cambridge, Mart 1996.

¹⁴⁶ MANKIW, N. Gregory; SHAPPIRO, Matthew D., "Trends, Random Walks and Tests of the Permenant Income Hypothesis", Journal of Monetary Economics, Cilt 16, Sayı 2, Eylül 1985, ss.165-174.

terimde, zaman serileri belli bir başlangıç değerine sahip olması gerektiğinden ve bu sabit değerinin anlamsız da olsa denkleme dâhil edilmemesi durumunda, durağan olmama durumlarının ortaya çıkabileceğinden dâhil edilmektedir¹⁴⁸. Durumu, trend durağan süreç (*trend stationary process*) ve diferansiyel durağan süreç (*difference stationary process*) açısından incelediğimizde, zaman serisine yapılacak doğrusal trend ilavesi ile yani trendsizleştirme sonucunda, eğer zaman serisi durağan hale geliyorsa, bu zaman serisinin deterministik bir trende sahip olduğunu; ancak eğer doğrusal bir trend ilavesi, zaman serisini durağan hale getirmiyorsa, bu durumda fark alınarak zaman serisi durağan hale getirileceğinden, stokastik bir trende sahip olduğu söylenebilir¹⁴⁹.

Şekil 2.21’de BİST100 endeksinin 1988-2015 zaman aralığındaki kapanış verileri bir zaman serisi olarak verilmiştir. Bu endeksin bu zaman aralığında bir trend içerdiği ve dolayısıyla durağan olmadığı söylenebilir.



Şekil 2.21: Durağan Olmayan Zaman Serisi Örneği

Çalışmalarda herhangi bir zaman serisinin durağanlığı test edilmektedir. Durağanlığın test edilmesinde korelogram testi, birim kök testi gibi testler de kullanılır. Bu testler aşağıda incelenmiştir.

¹⁴⁷ CHAREMZA, Wojciech W.; DEADMAN, Derek F., “New Directions in Econometric Practice”, Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham, 1997, ss.84-95.

¹⁴⁸ FRANCES, Philip Hans, “Time Series Models for Business and Economic Forecasting”, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, ss.80-90.

¹⁴⁹ ENDERS, Walter, “Applied Econometric Time Series”, John Wiley and Sons, New York, 1995, ss.155-195.

2.1.4.2. Korelogram Testi

Farklı τ değerleri için r_τ otokorelasyon katsayılarının bir grafik üzerinde gösterimine korelogram denmektedir. ρ_τ fonksiyonu ana kütle için korelogramı verir ve τ 'ye göre çizildiğinde korelogram grafiği elde edilir. Daha önce tanımlanan ana kütle (τ) dereceden otokorelasyon fonksiyonu, örnekten r_τ şeklinde tahmin edilebilir.

$$\rho_\tau = \frac{\lambda_\tau}{\lambda_0} = \frac{\text{gecikme } \tau \text{ iken ortak varyans}}{\text{varyans}} \quad -1 < \rho_\tau < 1 \quad (2.75)$$

$$r_\tau = \frac{\sum_{t=\tau+1}^n (X_t - \bar{X})(X_{t-\tau} - \bar{X})/n}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2/n} \quad (2.76)$$

Görüldüğü gibi, örnek otokorelasyon fonksiyonu τ gecikme için, τ gecikmeli kovaryansın, varyansa oranı şeklinde tanımlanmakta ve Eşitlik 2.76'da n serbestlik derecelerini sadeleştirerek basit bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Tahmin edilen bu otokorelasyon katsayıları, gecikme değeri ile anlamlı bir şekilde hareket ediyorsa, yani aralarında anlamlı bir bağıntı varsa, bu durağanlığın bozulduğunun anlamlı bir göstergesidir.

Anlamlılığını incelemek için çeşitli testler kullanılır. Bunlar sırasıyla;

- i. Bartlett'in, bir zaman serisinin bütünüyle rastgele ise (beyaz gürültü), örneklem otokorelasyon katsayılarının sıfır ortalama ve $1/n$ varyansla yaklaşık normal dağıldığını teoreminde, standart sapmanın $1/\sqrt{n}$ olması ve r_τ 'nin %95 güven aralığı içinde olması durumunda " $H_0, r_\tau=0, \text{ seri durağandır}$ " hipotezinin kabul edilmesidir.
- ii. Box ve Pierce'i Q istatistiği, bütün r_τ otokorelasyon katsayılarının eşanlı olarak sıfır olduğunun test edilmesinde kullanılır. Q istatistiği asimptotik olarak m serbestlik derecesi (gecikme uzunluğu) ile Ki-kare dağılır. $H_0 = r_1 = r_2 = \dots = r_\tau = 0$ hipotezine Q testi uygulandığında;

$$Q = n \sum_{\tau=1}^m r_\tau^2 \quad (2.77)$$

$Q > \chi^2$ (ki - kare) $\Rightarrow H_0$ red, seri durağan değildir

iii. Q istatistiğinin bir farklı şekli olan Box- Ljung Q- istatistiği;

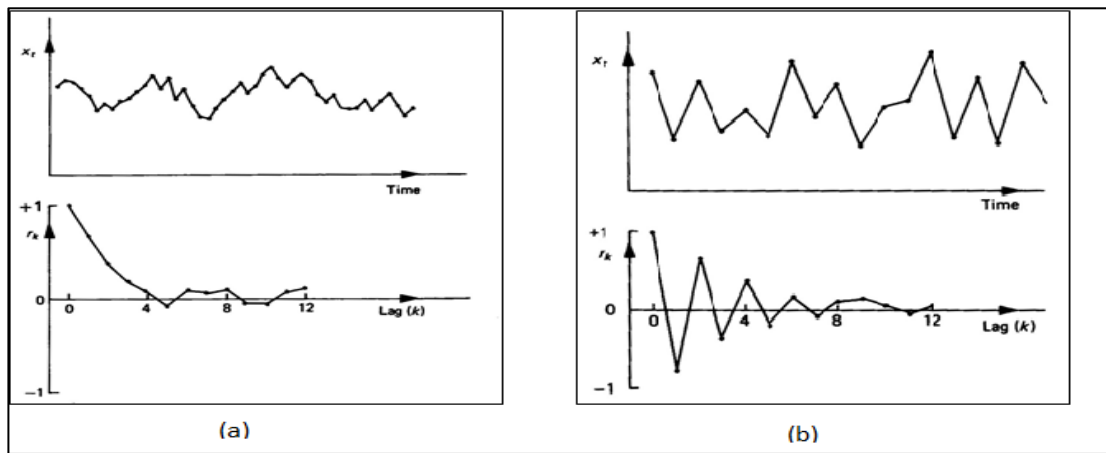
$$Q = n(n + 2) \sum_{\tau=1}^m \left[\frac{r_{\tau}^2}{n - \tau} \right] \quad (2.78)$$

ki-kare kritik değeri (χ_m^2) ile karşılaştırılır¹⁵⁰.

$$Q > \chi_m^2 \Rightarrow H_0 \text{ red}$$

Diğer bir anlatımla, hesaplanan test istatistiği kritik değerden büyük ise anlamlı bir bağlantının olduğu veya serinin durağan olmadığına karar verilir.

Aşağıdaki şekillerde korelogram kavramı grafikler yoluyla anlatılmıştır.



Şekil 2.22: İki Farklı Zaman Serisi ve Korelogram Grafikleri

Şekil 2.22'de iki farklı zaman serisi ve korelogram grafiklerini göstermektedir. Şekil 2.22a, düşük gecikme sürelerinde (k) oluşan önemli ve kısa dönemli korelasyonu göstermektedir. Şekil 2.22b ise, dönüşümlü-negatif korelasyonlu- (*alternating*) zaman serisini ve korelogram grafiğini göstermektedir.

2.1.4.3. Otokorelasyon

Otokorelasyon hata terimlerinin birbirini izleyen değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunması durumudur¹⁵¹. Etkin piyasaların varsayımı gereği hata terimleri arasında ilişki yoktur, yani

$$\text{cov}(u_i u_j) = E\{[u_i - E(u_i)][u_j - E(u_j)]\} = E(u_i u_j) = 0; \quad i \neq j \quad (2.79)$$

¹⁵⁰ ERTEK, Tümay, "Ekonometriye Giriş", Genişletilmiş 2nci Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1996, s.385.

¹⁵¹ GUJARATİ, Damodar N., "Temel Ekonometri", Literatür Yayımcılık, İstanbul, 2001, s.713.

Oysa hata terimleri arasındaki ilişki test edildiğinde, hata terimlerinin ilişkili olduğu sonucuna varılabilir. Burada $j=2,3,\dots$ olması durumunda yüksek dereceden otokorelasyon araştırılmış olur. Yüksek dereceden otokorelasyon testi için otokorelasyon (AC) ve kısmi otokorelasyon (PAC) fonksiyonlarına bakılır ya da χ^2 dağılımına sahip Ljung-Box Q veya Box-Pierce Q istatistiklerine dayalı Portmanteau testi yapılır¹⁵². Gözlem değerleri, önceki gözlem değerlerinden etkileniyorsa seride otokorelasyon var demektir ve rastgele yürüyüş geçerli değildir. Rastgele yürüyüşün olmaması piyasanın etkin olmadığı şeklinde yorumlanır;

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2.80)$$

şeklinde ifade edilebilen otokorelasyon katsayısında γ_k , k gecikme sayısı için kovaryansı, γ_0 ise varyansı ifade eder. Eşitlik 2.75'nin farklı karakterlerle gösterimidir. Spot ve vadeli değerlerinin farklarının ilişkili veya otokorelasyonlu veya rastgele dağılmaması bize etkin olmayan piyasaları işaret eder. Diğer bir ifadeyle, rastgele yürüyüş hipotezinin reddini sonuçlandırır. Otokorelasyon (AC) fonksiyonu ya da korelogram analizi ve Q istatistiği, rastgele yürüyüş konusunda fikir veren yöntemlerden biridir. Q istatistiği değişik zaman aralıkları için bulunacak olan otokorelasyon katsayı değerleri ile elde edilir¹⁵³. Korelogramda, değerlerin kesikli çizgi dışına çıkması serinin otokorelasyonlu olduğunu gösterir.

Korelasyonun olup olmadığını test etmenin diğer bir testi de Durbin-Watson d-istatistiğidir ve şu eşitlik ile gösterilir;

$$d = \frac{\sum_t (X_t - X_{t-1})^2}{\sum_t X_t^2} \quad (2.81)$$

Durbin-Watson istatistiğine göre otokorelasyonun kabul edilip edilmeyeceği aşağıdaki tablo yardımıyla pratik olarak belirlenebilir.

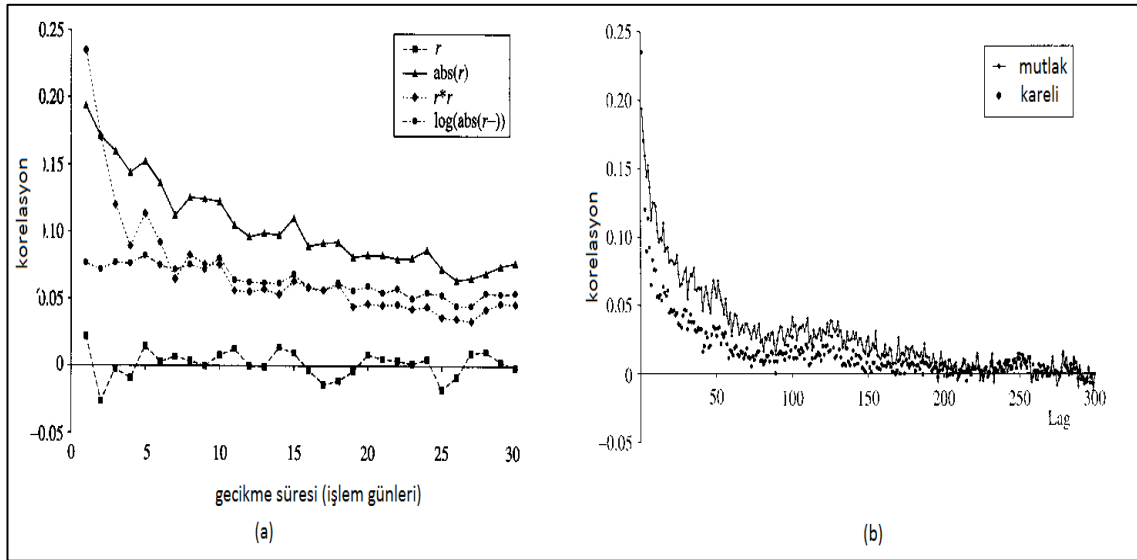
Tablo 2.1: Durbin-Waston Testinin Beş Bölgesi

H0 ret	Belirsizlik Bölgesi	H0 kabul (otokorelasyon yok)	Belirsizlik Bölgesi	H ₀ ret
0	d _l	d _u	2	4
			4-d _u	4-d _l

¹⁵² MAKRİDAKİS, Spyros G.; WHEELWRIGHT, Steven C. ve Hyndman, Rob J., "Forecasting Methods and Applications-Third Edition", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998, ss.150-172.

¹⁵³ ERTEK, Tümay, age., s.383.

Şekil 2.23'de ise, yirmi finansal zaman serisinin otokorelasyon fonksiyonları grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.23a, yirmi finansal zaman serisinin getirileri ile getirilerin çeşitli doğrusal olmayan dönüşümlerinin ortalama otokorelasyonunu göstermektedir. Şekil 2.23b ise, getirilerin mutlak ve kareli değerlerinin otokorelasyonunu göstermektedir.



Şekil 2.23: Yirmi Finansal Zaman Serisinin Otokorelasyon Grafikleri

2.1.4.4. Normal Dağılım ve Etkinlik

Etkinlik hipotezi fark serisi kalıntılarının (u_i 'lerin) aşağıdaki değerlerle normal dağıldığını varsayar;

$$\text{Ortalama} \quad E(u_i) = 0 \quad (2.82)$$

$$\text{Varyans} \quad E(u_i^2) = \sigma^2 \quad (2.83)$$

$$\text{Kovaryans} \quad E(u_i, u_j) = 0; \quad i \neq j \quad (2.84)$$

Bu varsayımlar kısaca şöyle özetlenebilir;

$$u_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (2.85)$$

Normal dağılıma sahip bir fark serisi, sıfır bir ortalamaya, sabit bir varyansa ve sıfır bir ortak varyansa sahiptir. Bu nedenle normallik varsayımı, sadece u_i ve u_j 'nin birbiriyle ilişkisiz olduklarını değil, aynı zamanda bunların bağımsız dağıldıklarını da

ifade eder¹⁵⁴. Normal dağılıma sahip bir seri, ortalaması etrafında rastgele dağılımlıdır ve etkin piyasa hipotezinin kabul edilmesini sağlar. Gerek spot değerlerinin birinci derece farklarının, gerekse spot ve vade terimlerinin farklarının normal dağılıma sahip olup olmadıklarını saptamak için Jarque-Bera (J-B) testi kullanılmıştır. Jarque-Bera testi bir büyük örneklem testi olup basıklık (*kurtosis*) ve çarpıklık (*skewness*) ölçütlerine dayanır ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilir¹⁵⁵;

$$JB = n \left[\frac{s^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (2.86)$$

Burada Kurtosis (K-3)'in alacağı işaret basıklığı, Skewness (S)'in alacağı işaret çarpıklığı gösterir. Rastgele değişkenin dağılımının sivriliğini ya da basıklığını gösteren basıklık (*kurtosis*) ölçütüdür; çarpıklık (*skewness*) ise, dağılımın ortalama değere göre simetrikliğinin derecesini gösterir. Ekonometrik programlar kullanılarak hesaplanan J-B test istatistiği, belirli bir anlamlılık seviyesinde (%1,%5,%10) χ^2 tablosundan elde edilen kritik değerden büyükse, serinin normal dağılıma sahip olmadığını içeren hipotez kabul edilerek piyasanın etkin olmadığına karar verilir.

2.1.4.5. Harmonik Analizi

Harmonik analiz, döngünün boyu belli olduğu zaman, döngüsel modelin belirlenmesi için kullanılır. Trend analizi zaman serisi verisine uyan en uygun trendinin belirlenmesinde kullanıldığı gibi, harmonik analiz de döngünün ortalama, genlik ve fazının belirlenmesinde kullanılır. Harmonik analiz, zaman serisinin periyodu bilindiğinde kullanılacak uygun bir yöntemdir. Ancak, eğer döngünün boyu belirlenemediği veya bilinmediği durumlarda, periyodogram analizi veya spektral analiz daha uygun yöntemler olarak kullanılmalıdır.

Harmonik analiz, lineer regresyon modeline benzetilebilir. $X'_t = a + bt$ basit lineer regresyon denklemdir ve temel istatistik yöntemlerinden en küçük kareler yöntemi uygulanarak ilgili parametreler tahmin edilebilir. Ancak, X_t serisi sinüzoidal

¹⁵⁴ TERZİ, Harun; ZENGİN Hilmi, “Temel Ekonometri Teori ve Uygulama”, Derya Yayınevi, Trabzon, 2003, s.26 ve GUJARATİ, Damodar N., “Temel Ekonometri”, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001, s.103.

¹⁵⁵ UYGUR, Ercan, “Ekonometri: Yöntem ve Uygulama”, İmaj Yayıncılık, Ankara, 2001.

seriler ihtiva ettiği zaman daha karmaşık trigonometrik modelleri kullanmak gerekir. Aşağıdaki denklem, bu tür bir modeli göstermektedir;

$$X_t = \mu + R\cos(\omega t + \phi) + \epsilon_t \quad (2.87)$$

Burada;

X_t : X serisinin t zamanındaki değeri,

μ : Serinin ortalama değeri,

R : Serinin genliği veya yüksekliği,

ω : Serinin radyan cinsinden frekansı ve $2\pi/\tau$ 'ye eşit,

Φ : Fazı,

ϵ : Döngüye bağlı olmayan ve arta kalan değerleri,

t : Gözlem sayısını göstermektedir.

Bununla beraber, parametrelerin daha uygun olarak tahmin edilebilmesi için denklem sinüs ve kosinüs fonksiyonları birlikte kullanılarak yazılabilir, bu durumda eşitlik aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$X_t = \mu + A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t) + \epsilon_t \quad (2.88)$$

Bu eşitlik sinüzoidal fonksiyonların en genel şekilde yazılımıdır. Burada, A ve B değerleri sinüs ve kosinüs bileşenlerinin, seriye ne kadar katkı yaptıklarını belirler. Sinüs ve kosinüs fonksiyonları aynı dalga şekline sahiptirler, ancak 90 derecelik veya çeyrek devirlik fazdadırlar. τ periyodundaki sinüs ve kosinüs fonksiyonları birbirinden bağımsızdırlar, dolayısıyla A ve B katsayılarını değiştirerek tüm sinüzoidal dalgalanmaları üretmek mümkündür. Verilen bir τ periyodundaki döngünün, ortalama, genlik ve faz parametreleri, en küçük kareler yöntemi kullanılarak tespit edilebilir. Salınımın genel genliği (R) ve fazı (Φ);

$$R = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (2.89)$$

$$\Phi = \arctan\left(\frac{-B}{A}\right) \quad (2.90)$$

Parametrelerin tahmin değerleri aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n X_t \quad (2.91)$$

$$\tilde{A} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) \cos \omega t \quad (2.92)$$

$$\tilde{B} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) \sin \omega t \quad (2.93)$$

Bununla beraber, zaman serileri tam sayıda döngü içermiyorsa veya seride iki veya daha fazla döngüsel bileşen varsa parametrelerin tahmin edilmesi daha karmaşık hale gelir. Her iki durumda parametreler, diğer parametrelerin değerlerini de dikkate alarak tahmin edilmelidir. Bu sorunu çözmek için analitik bir çözümden ziyade numerik yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerden biri hedef / ızgara arama (*grid search*), en iyisi ise maksimum olabilirlik (*maximum likelihood*) yöntemidir¹⁵⁶. Bu yöntemlerde, farklı τ değerleri kullanılarak, zaman serisi verisine en iyi uyan periyot bulunur.

Ayrıca, A ve B katsayılarının anlamlılığını test etmek için regresyon analizindeki t ve F testleri kullanılabilir. Ancak, harmonik analizinden arta kalan değerler bağımsız veya beyaz gürültü olmayabilirler ve bu durumda bu anlamlılık testleri doğru sonuç vermez¹⁵⁷.

Harmonik analizi, döngüsel serilerin analizinde kullanılacak en kolay ve basit yöntemdir. Ancak, eğer serilerde doğrusal (*linear*) veya eğrisel (*curvilinear*) trend varsa, analizin sağlıklı yapılabilmesi için seriden ayrıştırılmalıdır. Ayrıca, eğer serinin periyodu τ önceden bilinmiyorsa veya seri birden fazla döngüsel bileşen içeriyorsa, periyodogram veya spektral analiz kullanılmalıdır. Serinin aykırı durumlar içermesi halinde ise, bu aykırı veriler dönüştürülerek analizin orantısızca etkilenmesi engellenmelidir. Tüm bu analizlerin yapılabilmesi ve harmonik analizden elde edilen sonucun iyi uyum sağlaması için serilerin durağan olması gereklidir.

¹⁵⁶ BLOOMFIELD, Peter, "Fourier Analysis of Time Series: An Introduction", Wiley, New York, 1976, s.23.

¹⁵⁷ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, s.57.

2.1.4.6. Periyodogram

Periyodogram analizi esasen harmonik analizin genelleştirilmesidir. Harmonik analiz periyodu belli olan döngülerin parametrelerini tahmin etmekle beraber, pek çok araştırmada serilerin periyodları önceden bilinmez. Bu nedenle çalışmalarda, zaman serilerinde hangi bileşenlerin yüksek oranlı varyansları açıkladığını, dolayısıyla da bu serilerin periyot boyunu ve genliğini tespit etmek gerekmektedir.

N uzunluğundaki bir serinin varyansını $N/2$ sayıda periyodik bileşenlere bölümlenmenin en basit şekli, varyans analizinin (*Analysis of Variance-ANOVA*) bir türü olan periyodogramdır¹⁵⁸. Gerçekte, periyodogram analizi, zaman serilerinde her farklı sinüzoidal gruplara karşılık gelen varyansın yüzdelerini belirler. Ayrıca, periyodogram, her sinüzoidalın faz ve genliğini de tahmin eder. Ancak, periyodogram analizinin de doğru sonuç vermesi için serinin trendden arındırılması gerekmektedir. Serideki trendler, uzun periyoda sahip döngüleri taklit ederek, varyansın bölünmesini etkileyecekler ve periyodogramda uzun süreli döngülerin varyansı olarak görüneceklerdir.

N uzunluğundaki bir zaman serisi, $N/2$ sayıda ve sırasıyla $N/1$, $N/2$, $N/3$, ..., $N/(N/2)$ veya 2 periyotlarında sinüzoidal dalgalar ile yeniden üretilebilir. Bu periyotlar eşit olarak dizildiklerinden birbirlerinden bağımsızdırlar, dolayısıyla da istatistiki olarak da birbirlerinden bağımsızdırlar. Periyodogram analizinin amacı, N uzunluğundaki zaman serisinin kareler toplamını (*Sum of Squares*, SS_{total}), her biri iki serbestlik derecesindeki ve her bir döngüden sorumlu olan varyans değerine karşılık gelen $N/2$ SS bileşene ayırmaktır¹⁵⁹.

Serideki her frekans için A ve B katsayıları bulunur ve bu katsayılardan da her frekans için $2/N (A^2 + B^2)$ periyodogram koordinatı veya yoğunluğu hesaplanır. Bu değer, her bir periyodik bileşene karşılık gelen kareler toplamı SS değeridir ve ANOVA'da olduğu gibi bu değerlerin tüm frekanslar boyunca toplamı, zaman serisinin toplam kareler SS_{total} eşittir. Bu analizlerde, N küçük değerlerde iken en küçük kareler yöntemini uygulanabilirken; N büyük değerlere ulaşırsa, katsayılara ulaşmak için Kesikli Hızlı Fourier Dönüşüm (*Discrete Fast Fourier Transform*, $DFFT$) algoritmasını

¹⁵⁸ BOX, George E. P.; JENKINS, Gwilym M., "Time Series Analysis: Forecasting and Control", Holden-Day, Inc., San Fransisco, 1970, ss.36-39.

¹⁵⁹ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, s.65.

uygulamak daha etkin sonuç verecektir. Ayrıca, bulunan Fourier katsayılarıyla tekrar oluşturulan sinüzoidalın şekli, zaman serilerinin davranışını açıklamada belirleyici bir yoldur.

Periyodogram analizinde, sıfır hipotezi (*null hypothesis*), incelenen zaman serisinin beyaz gürültü (*white noise*) olduğu ve her bir $N/2$ periyodik bileşenin yaklaşık olarak eşit miktarlardaki varyanslara sahip olduğudur. Ancak, eğer bir periyodik bileşen zaman serisindeki varyansın büyük kısmını açıklıyorsa, bu periyodik bileşen, SS_{total} 'in $N/2$ frekans bileşenleri arasında eşit olarak bölündüğünde beklenenden daha büyük SS değerine sahip olacaktır. Periyodogramdaki bu tepe değerlerinin istatistiki anlamlılık testleri ise Fisher testi uygulanarak yapılabilir.

Periyodogram analizinde, kullanılan zaman serisinin uzunluğunun, tespit etmeye çalıştığımız döngünün tamsayı katı seçilmesi önemlidir. Eğer bu uzunluk tamsayı katı olarak seçilmezse, bu durumda sızıntı (*leakage*) olarak adlandırılan yapay bir durum ortaya çıkar. Sızıntı, gerçek döngü periyodogram analiziyle doğru olarak tespit edilemediğinde, varyans diğer döngü uzunluklarına karşılık gelen kareler toplamına taşarak oluşur. Diğer bir deyişle, eğer zaman serisinin frekansı, periyodogram analizindeki frekanslardan biriyle eşleşmiyorsa, bu durumda ihmal edilen bu frekans nedeniyle oluşan varyans komşu frekanslara sızacaktır. Eğer frekans önceden bilinmiyorsa, sızıntıyı (*leakage*) engellemek için farkı N değerleri ile periyodogram analizleri yapıp, en net tepe noktalarını veren frekans seti belirlenebilir. Döngü boyunun daha hassas olarak belirlenmesi gereken durumlarda hedef / ızgara araması (*grid seach*) yöntemi ile harmonik analiz yapılarak zaman serisine en iyi uyan τ değerleri belirlenebilir.

Bu analiz, tamamen kesin periyotlara sahip zaman serilerinin, her biri sinüs veya kosinüs terimleri ile temsil edilen belirli sayıda armonik dalgaların toplamı olarak temsil edilmesine dayanır. Bir zaman serisinin $X_t=f(t)$ bütün t değerleri için $f(t+\tau)=f(t)$ şartı sağlıyorsa X_t serisi τ periyoduna sahip bir Fourier açılımı aşağıdaki gibi gösterilebilir¹⁶⁰.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \sin \frac{360nt}{\tau} + b_n \cos \frac{360nt}{\tau} \right) \quad (2.94)$$

¹⁶⁰ VURAN, Ateş, "İstatistik III", İ.İ.T.İ.A. İşletme Fakültesi, İstatistik ve Kanitatif Araştırmalar Enstitüsü Yayını, No 82/2, Met-Er Matbaası, İstanbul, 1981, s.75.

Eşitlikte, a_0 , a_n ve b_n değerleri sabit katsayılardır. Ayrıca, uzunluğu τ/n olan periyoda sahip armonik terimin kuvveti R_j (amplitude) ise;

$$R_n^2 = a_n^2 + b_n^2 \quad (2.95)$$

olarak hesaplanır. Pratik çalışmaların temel amacı, X_t ($t=1,2,\dots,n$) zaman serisinin temel armonik bileşenlerinin belirlenmesidir. Bu durumda, zaman serisinin bir Fourier açılımı ile normal dağılmış $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ rastgele hata teriminden oluştuğu varsayılmaktadır. Modelin n/m uzunluğundaki periyoda sahip armonik bileşenlerinin Fourier katsayıları:

$$a_m = \frac{n}{2} \sum_{t=1}^n X_t \sin \frac{360mt}{n}; \quad b_m = \frac{n}{2} \sum_{t=1}^n X_t \cos \frac{360mt}{n} \quad (2.96)$$

şeklde hesaplanmaktadır. R_m değerinin, m 'nin alacağı farklı değerler için n/m ekseninde gösterilmesine X_t 'nin zaman serisinin periyodogramı denmektedir. Bir armonik bileşenin anlamlılığı R_m^2 tahminin anlamlılığı ile test edilir. Bunun için Walker, Fisher ve Shuster testleri kullanılmaktadır. Ancak, çalışmanın konusu periyodogram analizi olmadığı için, bu testlerden bahsedilmemiştir.

Schuster periyodogramı, X_t ($t=1,2,\dots,n$) gibi zaman serisi için aşağıdaki fonksiyonla tanımlanır.

$$I_n(\omega) = \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{j=1}^n x_j \cos \frac{2\pi j}{\omega} \right)^2 \right] + \left[\left(\sum_{j=1}^n x_j \sin \frac{2\pi j}{\omega} \right)^2 \right] \quad (2.97)$$

$I_n(\omega)$ fonksiyonun, eğer X_t serisinin ω_0 periyoduna sahip bir periyodik terimi varsa, $\omega = \omega_0$ değerinde bir tepe noktasına sahip olduğu görülür. Ayrıca, $\omega = \omega_0 + \frac{2\omega_0}{n}$ değerinde alt tepe noktalarına sahip olacaktır. Bu tepe noktaları için anlamlılık testleri çeşitli yazarlar tarafından önerilmiştir. Bu testlerle ilgili bir araştırma Jenkins ve Priestley'in eserinde toplanmıştır¹⁶¹. Tahmin edilen periyodogramın görünümü, değişkenden bağımsız olarak düşük gecikme ilişkilerinde bile tepe noktalarının

¹⁶¹ JENKINS, Gwilym M; PRIESTLEY, Maurice B., "The Spectral Analysis of Time Series", Journal of Royal Statistical Society Series B, Cilt 19, 1957, ss.1-12.

meydana gelmesine sebep olduğundan, yukarıda bir örneği verilen bu testlerin kullanımı gereklidir.

Diğer taraftan, trigonometrik fonksiyonların karmaşık (*complex*) açılımları kullanılarak da periyodogram analizi yapılabilir. Bu durumda, Eşitlik 2.97 şu şekilde yazılabilir;

$$I_n(\omega) = \frac{1}{n} \left| \sum_{t=1}^n X_t e^{-i\omega t} \right|^2 \quad (2.98)$$

Periyodogram spektral tahmincisi olarak adlandırılan bu fonksiyonun, ilk kullanım amaçlarından biri zaman serilerindeki gizli kalmış periyotları ortaya çıkarmaktır¹⁶². Bu denklemlerle tahmin edilen periyodogramın bir özelliği de örnek birim sayısı n sonsuza giderken beklenen değerinin, güç spektral yoğunluk tahmincisine denk olmasıdır.

$$S(\omega) = \lim_{n \rightarrow \infty} E[I_n(\omega)] = \lim_{n \rightarrow \infty} E \left[\frac{1}{n} \left| \sum_{t=1}^n X_t e^{-i\omega t} \right|^2 \right] \quad (2.99)$$

Sürekli serilerin periyodogramlarının tahmin edilmesinde uygulamada zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu durumda, periyodogramın Hızlı Fourier Dönüşümü (*Fast Fourier Transformation- FFT*) ile tahmin edilebilmektedir¹⁶³. Periyodogramın tahmin edilmesi için gerekli frekans örnekleme aralığı olarak;

$$\omega = \frac{2\pi}{n} k, \quad K = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2.100)$$

belirlendikten sonra, W sabiti;

$$W = e^{-i2\pi/n} \quad (2.101)$$

¹⁶² STOICA, Petre; MOSES, Randolph, "Introduction to Spectral Analysis", Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997, s.24.

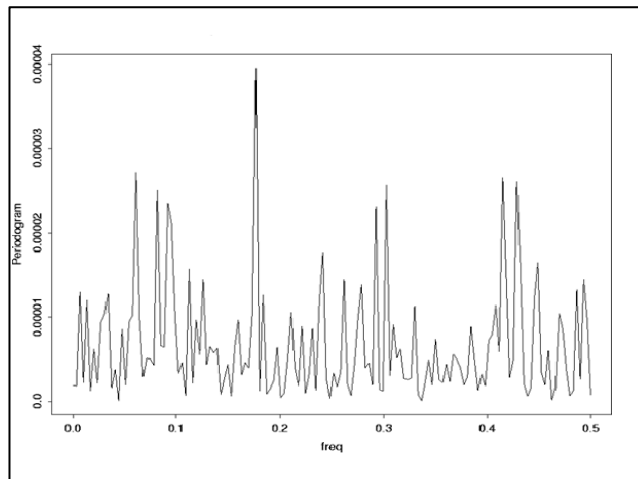
¹⁶³ STOICA, Petre; MOSES, Randolph, age., s.27.

olarak tanımlanır. Böylece periyodogram, Kesikli Fourier Dönüşümü'nün (*Discrete Fourier Transform - DFT*) hesap şekline indirgenmiş olur;

$$Y(k) = \sum_{t=1}^n X_t W^{tk} \quad (2.102)$$

Eşitlik 2.102'nin kullanılabilmesi için N^2 adet karmaşık (*complex*) çarpma ve toplama işleminin yapılması gereklidir. Bu hesaplamalar, n örnek hacminin büyük olduğu durumlarda, yöntemin kullanılmasında büyük engel oluşturmaktadır. Bu nedenle, çözüm için FFT algoritmaları kullanılır.

Bu tür çalışmaların amacı, varyans bölümlenmesi belirlemek veya döngü hakkında olabildiğince ilk ve kesin tahmini yapabilmek olduğu için, harmonik analiz ve periyodogram analiz, basit ve kullanışlı teknikler olarak kullanılabilir. Ancak, iki gerçekçi olmayan varsayım içerdiğinden dolayı fazla ilgi görmemiştir. Öncelikle, bu teknik, rastgele sapmalar dışında bütün tepe ve dip noktaların, ekonomik zaman serilerindeki kesin ve değişmeyen dalgalanmalardan ortaya çıktığını varsaymaktadır. İkincisi ise, rastgele sapmaların, ileriki dönemlerde ekonomik zaman serisi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını kabul etmesidir¹⁶⁴. Bu nedenlerden dolayı, daha gerçekçi varsayımlara sahip ve düzenli dalgalanmaları ortaya koyabilecek teknikler üzerinde çalışmaya devam edilmiştir.



Şekil 2.24: Dow Jones Endeksinin Periyodogramı

¹⁶⁴ TINTNER, Gerhard, "Time Series: General", Science Dictionary, Cilt 2, s.51.

2.1.4.7. Korelogram

Korelogram daha önce anlatıldığı gibi, farklı gecikme seviyelerindeki (τ) bir zaman serisinin otokorelasyon katsayılarının (ρ_τ) incelendiği yöntemdir. (Blackman ve Tukey, 1959). Yukarıda bahsi geçen güç spektral yoğunluk fonksiyonunun, otokovaryans katsayılarına (λ_τ) dayalı tanımı, **korelogram spektral tahmincisi** olarak adlandırılır¹⁶⁵. Korelogram spektral tahmincisinin tanım fonksiyonu aşağıda verilmiştir;

$$S_c(\omega) = \sum_{t=-(n-1)}^{n-1} \hat{\lambda}_\tau e^{-i\omega\tau} \quad (2.103)$$

Bu denklemde yer alan otokovaryans katsayıları, durağanlık varsayımı dışında bir varsayım yapılmadığı takdirde aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$\hat{\lambda}_\tau = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=\tau+1}^n (X_t - \bar{X})(X_{t-\tau} - \bar{X}), \quad 0 \leq \tau \leq n-1 \quad (2.104)$$

Örnek otokovaryans istatistikleri, yukarıda verilen formül ile hesaplanır. Varyans-kovaryans matrisinin simetri özelliğinden yararlanılarak, negatif gecikmelerin kovaryansları belirlenir. Bu denklem ile yapılan ana kütle parametre tahmini, standart sapmasız otokovaryans süreci tahminidir. Eğer serbestlik derecesi veya payda $n-\tau$ yerine n olarak alınırsa standart sapmalı otokovaryans süreci tahmin edilmiş olur.

$$\lambda_{-\tau} = \lambda_\tau \quad (2.105)$$

Eşitlik 2.105 aynı zamanda trigonometrik fonksiyonların bir özelliğidir. Eşitlik 2.104 ile yapılan ana kütle parametre tahmini, standart sapmasız otokovaryans süreci tahminidir. Eğer serbestlik derecesi veya payda, $n-\tau$ yerine n olarak alınırsa standart sapmalı otokovaryans süreci tahmin edilmiş olur.

Periyodogram ve korelogram yöntemlerinin, spektral tahmincilere göre daha zayıf kalmalarına rağmen, parametrik olmayan spektral tahmin yöntemlerinin temelini oluştururlar.

¹⁶⁵ STOCIA, Petre; MOSES, Randolph, age., s.24.

2.2. SPEKTRAL MODEL

Zaman serilerinin modeller şeklinde tanımlanması, zaman düzleminde zaman serileri analizi olarak bilinmektedir. Ancak zaman serilerinin frekans düzleminde analizi olan spektral analiz, uygulamalar için farklı bir yaklaşım getirmiştir. Spektral analiz, zaman serilerinin güç spektrumunun tahmininde kullanılan bir istatistik yöntemidir. Güç spektrumu, otokovaryans fonksiyonunun Fourier dönüşümünü temsil eder, bir başka deyişle güç spektrumu, frekans domainindeki otokovaryans fonksiyonudur. Bu analiz, serilerin özellikleri hakkında genellikle faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Bununla beraber, hisse senedi getirilerinin tahmini için yapılan pek çok çalışmanın eksik yönleri olduğu için, araştırmacılar ve bilim insanları sürekli yeni ve farklı yöntemler geliştirmeye çalışmışlardır. Varlık Fiyatlama Modelleri, Etkin Piyasalar Hipotezi, Rastgele Yürüyüş Hipotezi, Regresyon Analizi, Zaman Serileri Analizi gibi çalışmalar ile getiriler en etkin şekilde test edilmek istenmiştir. Ancak, beklenen getiriler bu model ve hipotezlerdeki etkenlerden çok daha fazla değişkenin etkisi altındadır. Ayrıca, bu değişkenler zaman ve yere göre de değişebilmektedir. Tüketicilerin bugünkü ve geleceğe ilişkin tüketim tercihleri, teknolojik şoklar, tüketici zevkleri gibi tüketime dayalı değişkenler; doğal kaynakların jeopolitik durumu, teknolojik şoklar gibi üretime dayalı değişkenler; yatırımcıların beklentileri, öngörülleri, politikaları, spekülâtörler ve manipülâtörlerin davranışları gibi finansmana dayalı değişkenleri ayrıntıları ile inceleyen tam bir model geliştirilip test edilemeyebilir. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda, beklenen getirilerle makro değişkenler arasındaki ilişkiler konusunda daha çok bilgi sahip olunup bazı çıkarımlar yapılmıştır. Yukarıda adı sayılan analizlerden hiçbiri tek başına, “iki kere iki dört” eşitliği kadar net sonuç vermeyebilir. Birden fazla analiz kullanılarak daha etkin bir sonuç alınabilir ancak, kesin bir tahmin hiçbir zaman beklenmemelidir. Çok faktörlü modeller ile yapılan testler, tek faktörlü modellere göre daha başarılı sonuçlar verse de, beklenen getirilerin ve piyasalarda gözlenen dönemselliklerin, anomalilerin yeterince açıklanamadığı belirlenmiştir. Beklenen getiriler ile söz konusu değişkenler ve diğer dönemsellikler arasındaki ilişkiler, piyasanın etkin olmayışının kanıtı olmaktan çok, fiyatlama modelinin veya bunun test yöntemlerinin zayıf noktalarını, eksikliklerini ortaya koymaktadır. Aslında, testlerin mi yanlış fiyatlama modeli ile yapıldığı, yoksa menkul

kıymetin hâlihazırda yanlış fiyatlandığını sorusu kesin olarak tespit edilememektedir¹⁶⁶. Spektral Analiz tekniği de, geçmişte tekrar eden olayları inceleyerek bu analiz sepetine farklı bir yaklaşım sağlayabilir. Spektral Analiz, trend, konjonktür değişimler, mevsimsel değişimler, anomaliler ve rasgele değişimleri ayırıştırarak hisse senetlerinin döngüsel hareketlerini açıklayabilir.

Clive Granger 1960'lı yıllarda hisse senedi, faizler, GSMH gibi sabit bir noktaya dönmeden, uzun dönemler boyunca hareket eden ekonomik değişkenleri analiz etmek için o günkü istatistik yöntemlerinin yetersiz olduğuna dikkat çektiğinde, Princeton Üniversitesi'nin Zaman Serileri Ekonomik Araştırma Programını tamamlamış ve Spektral Analiz modelini geliştirmiştir. Spektral analiz tekniği ile konjonktür (döngüsel, devresel) olgular incelenebilecek ve ekonomik değişkenlerin değişimi formunda olan zaman serilerine uygulanabilecektir. Spektral analiz tekniği, ekonomistlerin ekonomik veriler arasındaki geri bildirim sorunlarının çözmesine yardım etmiş, ayrıca ekonomik zaman serileri verilerinin ekonomistler tarafından daha gerçekçi ve doğru olarak hesaplanmasını sağlamıştır. Granger, Ekonomik Zaman Serilerinin Spektral Analizi adlı yayınından yaklaşık kırk yıl sonra, 2003 yılında Ekonomi Dalı'nda Nobel Ödülü kazanmıştır. Nobel Vakfı, Granger'in geliştirdiği yöntemin "zenginlik ve tüketim arasındaki ilişkiler, döviz kurları ve fiyat seviyeleri, kısa ve uzun vadeli faiz oranları" da dâhil olmak üzere ekonomik araştırma ve politika alanlarında çok değerli olduğunu belirtmiştir. Granger, spektral tekniğinin, konjonktür dalgalanmalara benzeyen, uygun olarak seçilmiş genlikli, fazlı ve birbirine yakın periyotlardaki sinüs serilerinin toplamı olarak değerlendirileceğinden, serilerin analizinde avantaj sağlayacağını belirtmiştir¹⁶⁷. Spektral yaklaşım, bir frekans bandındaki sinüs fonksiyonlarının toplamından, sinüslerin entegraline yönelerek özellikle salınımların açıklanmasını sağlamaktadır. Bu da spektral analizi, Fourier dönüşümüne göre daha avantajlı yapmaktadır. Ancak, doğru analizin yapılabilmesi için gerekli olan veri, en uzun döngünün yedi katı uzunluğunda olmalıdır. Bunun yanında, bu katsayı ortalamada trendin olmadığı durumlar için kabul edilebilir, ancak ekonomik zaman serileri için trendin olmaması gerçekçi bir varsayım olmadığından bu katsayının daha da büyük olması ve daha uzun süreli verilerin

¹⁶⁶ BİLDİK, Recep, "Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma", İMKB Yayınları, İstanbul, Mayıs 2000, s.13.

¹⁶⁷ GRANGER, Clive W. J., HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.25-72.

kullanılması daha sağlıklı analizlerin yapılmasını sağlayacaktır. Ancak, bu durumda da analiz için yeterli uzunlukta verinin olup olmadığı söz konusu olacaktır.

Daha evvelki bölümde anlatılan ve zaman serilerini analiz yöntemlerinden biri olan periyodogram analizi tekniği, seride güçlü döngüsel bileşen olduğu zaman kullanışlı bir yöntemdir¹⁶⁸. Bununla beraber, toplam kareler (*sum of squares* - *SS*) tahmin yöntemiyle ilişkili olarak örnekleme hatalarına dayanan ciddi yanlışlıklar yapılabilmektedir. Bunun nedeni de, her bir frekansın periyodogram yoğunluğu etrafında oluşan güven aralığının oldukça geniş olmasıdır. Spektral analiz tekniği, bu örnekleme sorununu ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Güç Spektrumu (*Power Spectrum*), periyodogramın hafifçe düzeltilmiş uyarlamasıdır. Periyodogramdan güç spektrumunu türetmek için, periyodogramın yoğunluğunun, birkaç komşu frekansın yoğunluk tahminlerinin dâhil olduğu ağırlıklı ortalama ile değiştirildiği düzgünleştirme (*smoothing*) yöntemleri kullanılır. Spektral pencere (*spektral window*) bölümünde daha detaylı olarak açıklanacak bu düzgünleştirme iki farklı şekilde yapılır. Birincisi, ağırlıklı ortalama içinde olan komşu frekansların bulunduğu pencerenin genişliği değiştirilebilir. İkincisi ise, ağırlıklı ortalamada hesabı farklı yapılabilir; bazı pencereler tüm frekanslara eşit ağırlık verirken, bazıları merkeze yakın olan frekanslara, kenardakilerden daha fazla ağırlık verir. Düzgünleştirme öncesi periyodogram oldukça köşeli ve sivri iken, düzgünleştirme sonrası oluşan güç spektrumu daha düzgündür. Periyodogramda, ayrıık olan tepe noktaları birleşerek tek bir geniş tepe noktası haline gelebilirler ve düzgünleştirme örnekleme hatalarını azaltma eğiliminde olduğu için tahminler etrafındaki güven aralığı daralır. Periyodogram yönteminde, tüm zaman serisinin varyansını, ayrıık frekans bileşenlerine bölümler ve her bir frekansla ilişkili olan kareler toplamını (*sum of squares*), yoğunluk olarak adlandırır. Spektrum yönteminde ise, bu kareler toplamı, komşu frekanslarla birlikte ortalaması alınarak varyans dağılımının tüm frekans bantları boyunca daha düzgün ve güvenilir tahmininin yapılması sağlanır. Burada, belirli bir frekans bandındaki varyansın tahmin değerini belirtmek için “güç” terimi kullanılır. Spektral tahmini, toplam güç miktarına (veya varyansa) bölerek de spektral yoğunluk (*spectral density*) bulunur ve spektral yöntemle ilgili bir standartlaşma sağlanır. Spektral yoğunluk, zaman serilerindeki belli bir frekans

¹⁶⁸ NERLOVE, Marc; GREYER, David M.; CARVALHO, José L., “Analysis of Economic Time Series. A Synthesis”, gözden geçirilmiş baskı, Academic Press, San Diego, 1995, ss.22-23.

bandındaki varyans oranının tahmini sağlar ve değişik konular arasında karşılaştırmanın yapılmasını kolaylaştırır¹⁶⁹.

Tek değişkenli zaman serilerinin dönüşümü ile oluşan güç spektrumunun önemli özelliği, gürültü ve birinci dereceden otoregresif veya hareketli ortalama modelinin oluşturduğu basit şekillere göre daha karmaşık olan mevsimsel frekansların oluşturduğu tepe noktalarıdır. Konjontür olarak da ifade edilen, refah ve depresyon dönemlerinin oluşturduğu salınımlar ekonomistlerin sürekli ilgisini çekmiştir. Spektral analizin ilk dönemlerinde özellikle bu salınımlar incelenirken, bu konudaki detaylı çalışmalarda, konjontürün sabit, düzenli ve belirleyici olmadığını, bunun yerine sürekli değişen bir frekans bandına veya bantlarına sahip olduğu vurgulanmıştır. Ancak, konjontürün uzun dönemli bir salınım olması ve çoğu zaman eldeki verilerin yeterince uzun olmaması nedeniyle konjontürü ayırtmak zor bir işlem olabilmektedir. Ancak, ekonomideki diğer unsurlar da ekonominin genel hareketiyle beraber hareket etme eğiliminde olduklarından, bu tür uzun dönemli salınımlarda ekonominin ilgili diğer verileri de analiz sırasında kullanılarak iyileştirme yapılabilir.

Spektral analiz, özellikle incelenen zaman serilerine ait periyotların veya dalga boylarının uzun olması durumunda daha etkin sonuçlar vermektedir. Çok fazla sayıda periyodun veya dalganın olması durumunda zaman eksenini yerine frekans eksenini kullanmak daha rahat ve aydınlatıcı olabilir. Bununla beraber, az sayıda periyodun olması ve pek çok ekonomik veride olduğu gibi, bu periyotların boyunun ve genliğinin düzensiz olması durumunda frekans eksenini kullanmak fazla gerçekçi olmayabilir. Spektrumun düz olması (x-eksenine yatay), her bir bileşenin eşit ağırlığa sahip olduğunu, serinin korelasyonsuz veriler dizisinden oluştuğunu ve teknik olarak da bunun rastgele yürüyüş veya beyaz gürültü olarak yorumlanacağını gösterir. Eğer spektrum belli frekanslarda zirveler veya sivri noktalar gösteriyorsa da bu frekans veya frekansların serinin belirgin bir özelliğini gösterdiğini ve bu seride döngüsel hareketlerin olduğu söylenir. Spektral yöntemler aynı zamanda, hisse senetlerinin analizinde de konjontür ve mevsimsel etkilerin incelenmesinde kullanılır. Bu şekilde, zamanın fonksiyonu olan hisse senedi fiyatları frekans ortamına dönüştürülür ve zaman

¹⁶⁹ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, ss.78-79.

serilerini kullanan istatistik fonksiyonlarının analiz edemediği konjonktür ve mevsimsel etkiler belirlenir¹⁷⁰.

Zaman serilerinin spektral ayrıştırması, spektral yoğunluk fonksiyonunun oluşması sağlar ve her frekans bandının zaman serilerinin varyansına olan görece etkisini ölçer. Aslında, spektral analiz, zaman serilerin varyansının frekans bileşenlerine göre incelenmesidir¹⁷¹.

2.2.1. Spektral Modelin Tanımı

Zaman serisi modelleri, ilgilenilen verinin periyodik olarak tekrarlanmasındaki genliğin nispeten büyük olması durumunda fayda sağlamaktadırlar. Ancak, zaman serilerinin tersine, spektral analiz, frekans düzlemi tekniklerini kullanan ve spektral yoğunluk fonksiyonunu temel alan yöntemlerdir. Spektral analiz, zaman serilerini bileşen frekanslarına ayırtan ve matematik tabanlı bir tekniktir. Her frekans bileşeniyle bağlantılı genlik veya varyans, spektral yoğunluk tahmini olarak bilinir. Burada, zaman düzlemi ile frekans düzlemi arasında bir bağlantının olmadığını söylemek önemli bir hata olur, çünkü zaman serisi otokorelasyon süreçleri ile spektral analiz arasında bir ilişki vardır. Spektral yoğunluk fonksiyonu, otokovaryans fonksiyonunun Fourier dönüşümüdür. Fourier dönüşümü, zaman serilerini farklı frekanslardaki saf sinüs dalgalarına dönüştürmenin cebirsel yöntemidir. Bu dönüşümle, her frekansın farklı genliği ve faz açısı da hesaplanır. Faz açısına göre düzeltilmiş bu sinüzoidal bileşenlerin cebirsel toplamı sonuçta orijinal zaman serisini verecektir. Bu arada, spektral yoğunlukların ters Fourier fonksiyonu alındığında da tekrar otokovaryanslar elde edilecektir. Zaman serilerini sinüs ve kosinüslerin doğrusal birleşimine çeviren pek çok spektral veya Fourier dönüşümü mevcuttur, ancak bunların karakteristiklerindeki geometri, özelliklerinin benzer olmasını sağlamaktadır¹⁷². Koopmans (1995) konuyu genellikle vektör uzay geometrisi kavramıyla incelemiştir. Bu çalışmamızda, spektral analiz kavramında temel olarak Granger'ın (1964) Zaman

¹⁷⁰ WOLD, Herman O., "Book Review of Spectral Analysis of Economic Time Series by C. W. J. Granger (in association with M. Hatanaka)", *The Annals of Mathematical Statistics*, Cilt 38, Sayı 1, 1967, ss.288-293.

¹⁷¹ LEUTHOLD, Raymond M., "Random Walk and Price Trends: The Live Cattle Futures Market", *Journal of Finance*, Cilt 27, Sayı 4, Eylül 1972, ss.879-889.

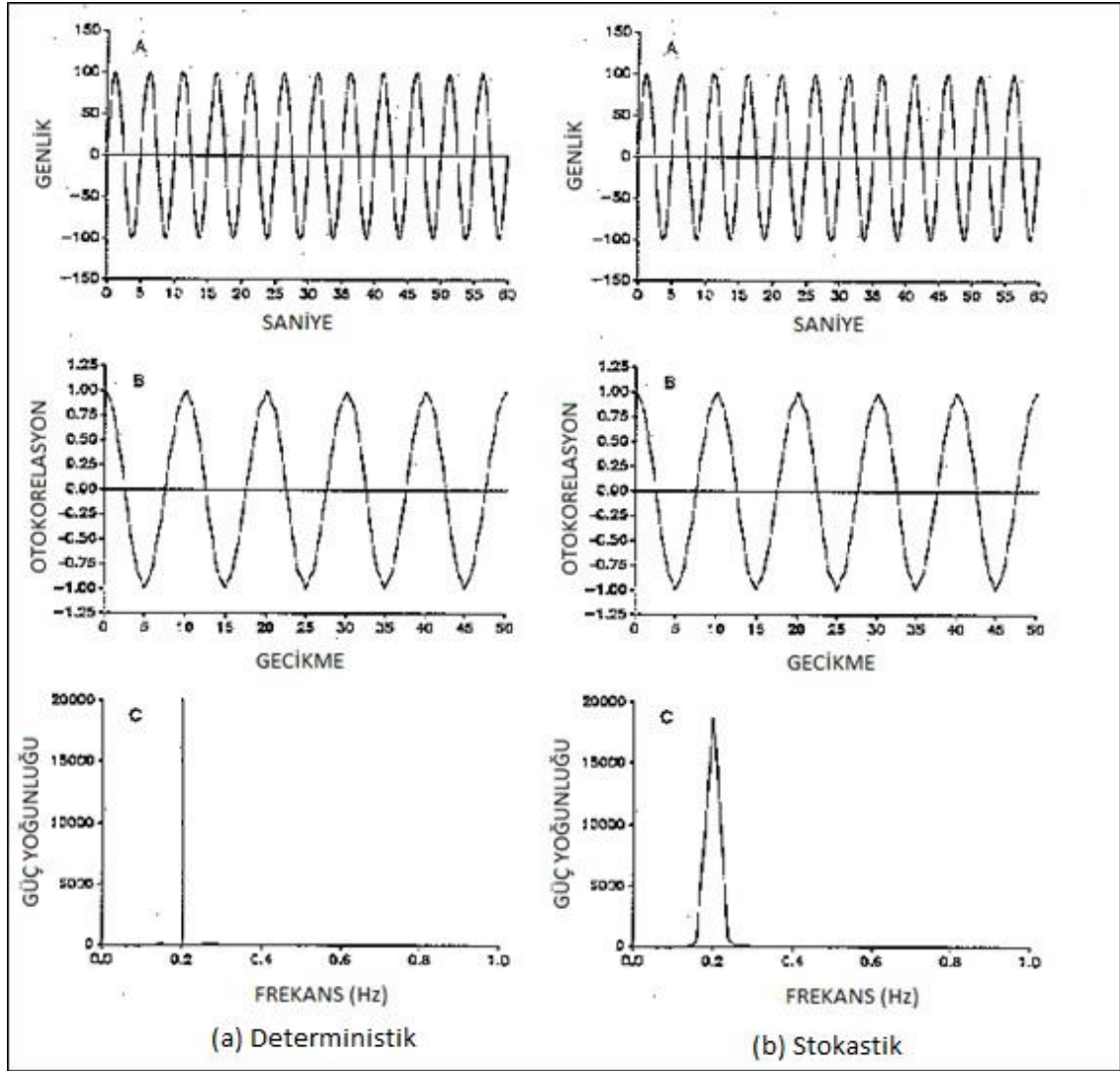
¹⁷² KOOPMANS, Lambert H., "The Spectral Analysis of Time Series", Academic Press, Inc., Albuquerque, 1995, s.1.

Serilerinin Spektral Analizi teorisini temel alacağız, ancak Koopmans (1995) ve Nerlove, Grether ve Carvalho'nun (1995) çalışmalarından da faydalanacağız.

Ekonomik zaman serilerinin analizi bölümünde açıklanan ve zaman serilerinin frekanslı bileşenlere ayrıştırılması olarak bilinen periyodogram analizini, pek çok araştırmacı spektral analiz yöntemi olarak değerlendirmektedir. Zaman serilerinin ayrıştırılmasında Herman Wold (1938) önemli bir teori geliştirmiştir. Wold Ayrıştırma Teoremi (*The Wold Decomposition Theorem*) olarak adlandırılan bu teoremden, en azından ikinci dereceden durağan bir zaman serisi karşılıklı olarak ilintisiz (*mutually uncorelated*) iki sürecin toplamı olarak gösterilir. Bu süreçlerden birincisi, belirli frekanslı ve rastgele genlikli sinüs ve kosinüslerden oluşan doğrusal deterministik bileşen iken; ikincisi, beyaz gürültü girişli tek taraflı hareketli ortalama ile gösterilebilen deterministik olmayan bileşendir¹⁷³. Diğer bir yöntem olarak, otokovaryans fonksiyonunun sonlu Fourier dönüşümü olan periyodogram da, kolay hesaplanmasına rağmen, spektral yoğunluk için tutarlı bir tahmin yöntemi değildir. Bu nedenle, daha az yanlı ve varyanslı tahminler elde etmek için düzleme (*smoothing*) yöntemleri kullanılır. Özellikle, stokastik süreçlerin kararlı bir şekilde tahminlenebilmesi için, spektral analiz, düzleme (*smoothing*) ve pencereleme (*windowing*) yöntemlerini de içerir.

Şekil 2.25'de iki aynı sinüzoidal dalganın zaman serisindeki grafikleri ile otokorelasyon ve güç yoğunluğu grafikleri verilmiştir. Şekil 2.25b'deki dalga 0,2Hz frekanslı saf bir sinüs fonksiyonu olmasına rağmen, güç yoğunluk grafiği, 0,2Hz'deki baskın frekansa bitişik frekanslarda da bulunmaktadır. Bunun nedeni, spektral tekniğin stokastik süreçlere uygulanma yöntemidir. Eğer, Fourier dönüşümü Şekil 2.25a'daki gibi deterministik sinüs dalgasına uygulansaydı, tüm varyans 0,2Hz frekansı üzerinde yoğunlaşmış olacaktı. Dolayısıyla, spektral tekniği stokastik süreçlere uygulanmak için pencereleme (*windowing*), düzleme (*smoothing*) gibi tekniklerden faydalanılacaktır. Frekans düzleminde pencereleme (*windowing*), incelen belli frekansın her iki tarafındaki ağırlıklı spektral yoğunluk tahminlerinin toplanmasıyla gerçekleştirilebilir.

¹⁷³ NERLOVE, Marc; GREATHER, David M.; CARVALHO, José L., "Analysis of Economic Time Series. A Synthesis", gözden geçirilmiş baskı, Academic Press, San Diego, 1995, ss.30-36.



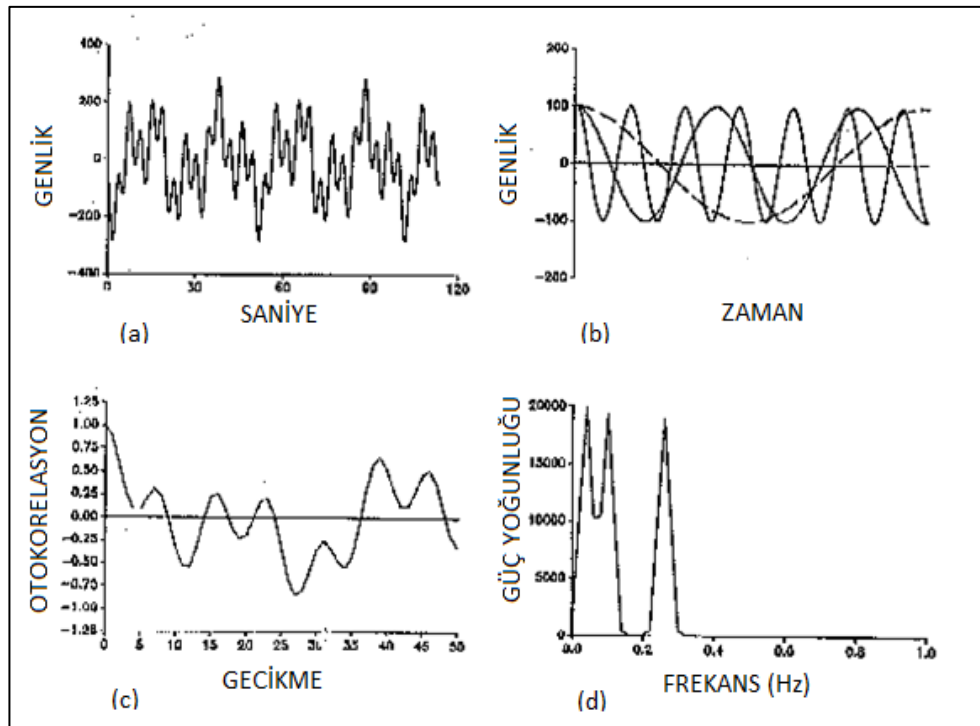
Şekil 2.25: Güç Yoğunluğu Grafikleri

Bu ağırlıklı yöntemi, spektrum (periyodogram) boyunca adım adım taşıyarak, spektrumdaki kararsız tahminleri temsil eden beklenmedik değişimler düzleştirilebilir. Pek çok değişik pencereleme yöntemi bulunmaktadır. Daniell, Tukey-Hanning, Hamming, Parzen ve Bartlet pencereleri bu yöntemlerden en çok kullanılanlarıdır.

Spektral yoğunluk fonksiyonunu hesaplamak için değişik teknikler kullanılabilir. En çok kullanılan yöntem, bilgisayar sistemlerinde hesaplanması kolay olan Hızlı Fourier Dönüşümüdür (*Fast Fourier Transformation-FFT*). Ancak, bu sistemde ikinin kuvvetleri miktarında (128,256, 512, 1024 gibi) veri seti kullanmak gerekliliği, uygulamada bazı kısıtlamalar getirmektedir. Diğer bir teknik olan ayrık spektral analiz ise, herhangi bir sayıdaki veriyle otokovaryans fonksiyonunun

dönüşümü yapılarak hesaplanabilir. Ayrıca, pencereleme yöntemi kullanılarak, hem Ayrık Fourier Dönüşümüne (*Discrete Fourier Transformation*), hem de FFT'nin istatistik özellikleri artırılabilir.

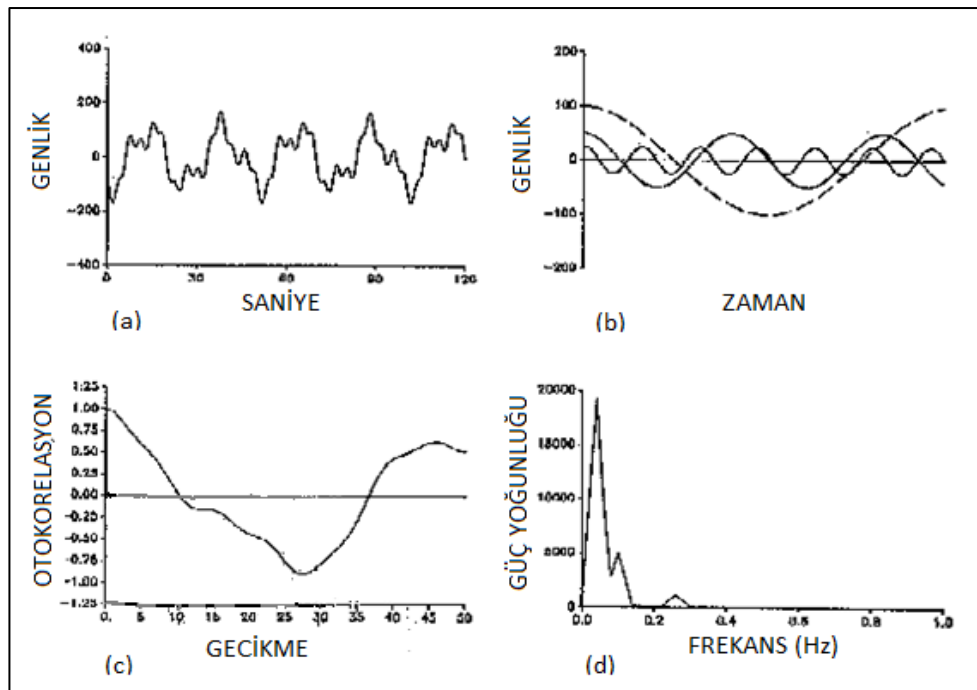
Spektral analiz, karmaşık dalgaların parametrelerinin hesaplanmasında çok daha kullanışlı ve faydalı bir yöntemdir. Spektral analiz, zaman serilerinin içinde karmaşık deseni içinde gömülü halde ve toplam varyansının küçük bir kısmını temsil ettikleri halde dahi, periyodik hareketleri tespit edebilecek ve ortaya çıkarabilecek özelliğe sahiptir.



Şekil 2.26: Eşit Genlikli Karmaşık Sinüs Dalgalarının Analizi

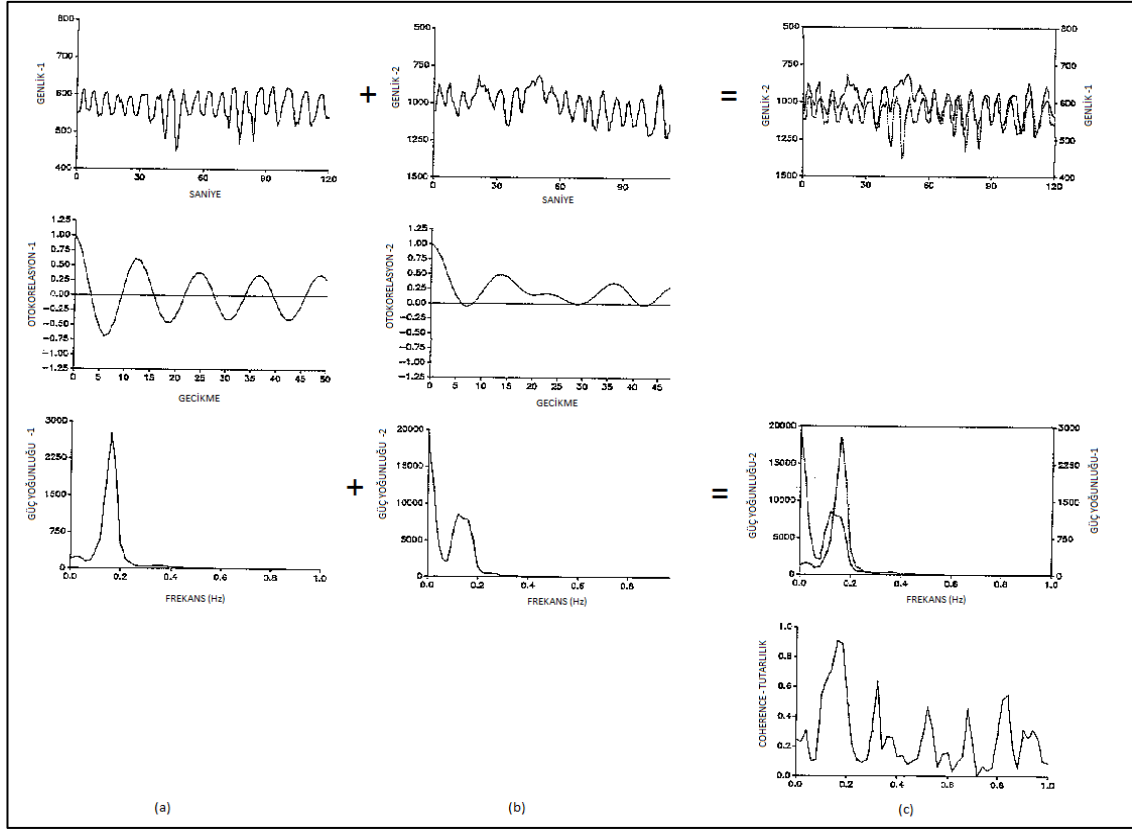
Şekil 2.26a'da eşit genlikli üç sinüs dalgasından oluşmuş bir zaman serisinin gösterimi bulunmaktadır. Bu eşit genlikli ancak farklı frekanstaki üç sinüs dalgası Şekil 2.26b'de ayrı ayrı gösterilmiştir. Burada kullanılan frekanslar 0,04Hz, 0,1Hz ve 0,26Hz'dir. Örnekteki verinin analizi, 500 milisaniyelik örnekler alınarak yapılmış ve ortaya çıkan zor anlaşılır otokorelasyon grafiği Şekil 2.26c'de gösterilmiştir. Örnekte, gecikme süresi 500 milisaniyelik örnekleme süresine eşit olup, üç sinüs dalgası sırasıyla 25, 10 ve 4 saniyelik periyotlara sahiptir. Eğer otokorelogram bu karmaşık verideki periyodik değişimleri bulmada faydalı bir yöntem olsaydı, 0,04Hz sinüs dalgası için her

50 gecikmeli, 0,01Hz sinüs dalgası için her 20 gecikmeli ve 0,26Hz sinüs dalgası için yaklaşık olarak her sekiz gecikmeli periyodikliği göstermiş olurdu. Otokorelogram, periyodik hareketleri göstermesi gerektiği halde, örnekteki veriden bu sonucu çıkarmak mümkün değildir. Hâlbuki Şekil 2.26d'deki spektral analiz grafiği, sürecin varyansını 0,0Hz ile 1,0Hz aralığındaki kurucu (temel) frekans bileşenlerine ayırır. Grafikte, üç ayrı sivrilik, aynı genlikte üç ayrı frekanstaki sinüs dalgalarını karşılık gelmektedir. Bu örnekte, veriler deterministik olmasına rağmen, analiz stokastik verilere uygulanan düzleme yöntemleriyle yapıldığı için, 0,04Hz ve 0,1Hz frekanslarında güç yoğunluk tahmin değerlerinde örtüşmeler oluşmuştur.



Şekil 2.27: Farklı Genlikli Karmaşık Sinüs Dalgalarının Analizi

Şekil 2.27 ise, farklı genlikteki sinüs dalgalarından oluşmuş bir zaman serisi verisi setinin analizi gösterilmiştir. Buradaki diğer bir fark da, bileşenlerden birinin toplam varyans içinde çok küçük bir bölüme sahip olmasıdır. Şekil 2.27d'deki güç yoğunluğu tahmincisi, üç frekansın bağıl varyanslarını tanımlamaktadır. Varyansın, genliğin karesinin ikiye bölünmesiyle bulunduğu göz önüne alınırsa, genlikteki 4:2:1 oranı, varyansta 16:8:1 oranını üretir. Güç yoğunluğu tahminleri de, varyansın doğrusal dönüşümü olduğundan, güç yoğunluk spektrumundaki üç tepe noktası bu oranı yansıtır.



Şekil 2.28: İki Farklı Sinüzoidal Dalganın Birlikte Analizi

Şekil 2.28’de ise, üst üste bindirilirmiş iki farklı karmaşık dalganın analizi grafiklerle gösterilmiştir. Bu analizin amacı ise, iki süreç arasındaki kovaryansı ortaya çıkarmaktır. Şekil 2.28a’da baskın frekans 0,18Hz (periyot = 5,6 sn.), Şekil 2.28b’de baskın frekansı çok daha düşük olmakla beraber 0,18Hz frekansında da daha bir salınım göstermektedir. Şekil 2.28c’deki tutarlılık (*coherence*) grafiği ise, iki serinin arasındaki ilişkiyi frekans düzleminde göstermektedir. Çapraz spektral analiz tekniği olarak adlandırılan bu konu daha ileriki bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Spektral analiz yöntemiyle her türlü verinin analizini yapmak mümkündür; teknik, kendisine verilen her bilgiyi, kurucu temel sinüzoidal dalgalara çevirebilmektedir; ancak, seriler çoğu zaman periyodik ve periyodik olmayan verilerden oluşabilmektedir. Ayrıca, periyodik bileşenler de her zaman sinüzoidal yapıda olmayabilir. Bu nedenle, spektral analiz, trend ve periyodik olmayan yavaş faaliyetleri, düşük frekanslı bileşen; periyodik sürecin harmoniklerini ve periyodik olmayan hızlı faaliyetleri ise yüksek hızlı bileşen olarak gösterebilir. Bu nedenle, ham veri üzerine yapılmış spektral analizlerdeki güç yoğunluklarının tepe noktaları, tam olarak periyodik

sürece karşılık gelmeyebilir. Bu nedenle, ham verinin öncelikle trendden arındırılması, elde edilecek sonucun verimliliği bakımından önemlidir. Bunun yanında, eğer zaman serisi durağan ise, veriden tek bir sonlu örnek alınarak yapılacak analiz, tutarlı tahminleri elde etmek için yeterli olacaktır¹⁷⁴. Bu önemli nokta, ergodik (ölçümlü, döngel) teorileri tarafından matematiksel olarak da kanıtlanmıştır. Ergodiklik, daha evvel de belirtildiği gibi, gözlemlenen örnek momentlerin (ortalama, varyans, otokovaryans), tüm veriye yakınsadığını açıklamaktadır. Yukarıdaki sebeplerden dolayı, analiz sonucunda spektrumda belirlenen tepe noktalarının istatistiksel olarak anlamlı olması, temel varsayımların ihlal edilmediği anlamına gelir¹⁷⁵.

Periyodik ve durağan olmayan bir serinin spektral dönüşümü, varyansın büyük bir bölümünü en düşük frekanslara dağıtacaktır. Tüm veriye doğrusal regresyon (*linear regression*) yöntemleri uygulanarak, seriden trend arındırılabilir. Bu yöntem, ancak ve ancak seri doğrusal veya düşük düzeyli (*low order*) trend içerdiğinde kullanılabilir. Durağan olmayan bileşenlerin seriden ayrıştırılması konusu, fitreler bölümünde daha detaylı olarak anlatılacaktır. Ayrıca, düşük frekanslardaki sapmaların diğer nedenleri; ortalama değer analizden önce seriden çıkarılmaması veya gerçek periyodik hareketlerin belirlenen en düşük frekans bandından daha yavaş hızda olmasıdır. Frekans bandının yanlış belirlenmesi durumunda, sapma yüksek frekanslardaki spektrumunu da etkileyebilmektedir.

Buraya kadar spektral analiz kavramı ile ilgili kavramsal ve görsel bilgiler verilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde ise, spektral analiz kavramının teorisi anlatılacaktır. Zaman ve uzay ortamındaki veri, frekans ortamına aktarılırken değişik sinüzoidallerin toplamından oluştuğu varsayılır. Spektral analiz, rastgele süreç teorisi (stokastik süreç) üzerine kuruludur. Spektral analiz, temel olarak kosinüs ve sinüs eğrilerinin toplanmasından elde edilen bir eğri formunu ifade etmektedir¹⁷⁶. Bu sinüzoidal dalgaların genlik ve fazları saptanır. Verinin, zaman / uzay düzleminde frekans düzlemine aktarılmasıyla elde edilen fonksiyonlara “frekans” denir¹⁷⁷. Veri,

¹⁷⁴ WARNER, Rebecca M., “Spectral Analysis of Time-Series Data”, The Guilford Press, New York, 1988, ss.1-48.

¹⁷⁵ NERLOVE, Marc; GREATHER, David M.; CARVALHO, José L., “Analysis of Economic Time Series. A Synthesis”, gözden geçirilmiş baskı, Academic Press, San Diego, 1995, ss.23-24.

¹⁷⁶ ÖĞÜT, Kemal Selçuk, “Trafik Akımlarının Spektral Analiz Yöntemi ile Modellenmesi”, 4ncü Ulaştırma Kongresi, Denizli, 1998, ss.147-156.

¹⁷⁷ NYMOEN, Ragnar, “Spectral analysis. Reference note to lecture 9 in ECON5101 Time Series Econometrics”, Lecture Note, University of Oslo, Department of Economics, Oslo, 2014.

istenmeyen bileşenleri de içerir. Bunlar gürültü olarak da adlandırılır. Gürültülerin bastırılıp verinin baskın hale gelebilmesi için bir aktarım işlemi yapılmalıdır. Bu aktarım işlemi genellikle verinin sinüzoidal fonksiyonlara çevrilerek işlenmesi ile olmaktadır. Sinüzoidal dalga aşağıdaki formül ile gösterilebilir¹⁷⁸;

$$f(t) = \alpha \cos(2\pi ft - \beta) \quad (2.106)$$

$$p = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.107)$$

$$\beta = \xi \lambda \quad (2.108)$$

Burada;

α : Sinüzoidal dalganın genliğini,

f : frekansı (birim zamandaki döngü sayısını),

β : faz açısını,

ξ : fazı göstermektedir.

Frekans (f): Sinüzoidal dalganın birim zaman birimi içinde kaç kez tekrarlandığını gösterir. Birimi “devir/zaman” dır. Frekansın tersi ($1/f$) periyod (p) olarak adlandırılır. $\lambda=2\pi f$ ise sinüzoidalın açısal frekansıdır.

Genlik (α): Fonksiyonun sıfır düzeyinden doruk noktasına ölçüsüdür. Bir sinüzoidalın en büyük ve en küçük düzeyleri arasındaki fark 2α olur.

Faz (ξ): Sıfır anına göre gecikmedir. Genliği ve frekansı belli bir sinüzoidalın evresi ile $t=0$ anına göre konumu da belirlenmiş olur. Sinüzoidalın $t=0$ anına göre en yakın doruğun uzaklığına faz kayması denir.

$$f(t) = \alpha \cos(2\pi ft + \beta) = \alpha \cos(\lambda t + \beta) = \alpha \cos(\lambda t) \cos(\beta) - \alpha \sin(\lambda t) \sin(\beta) \quad (2.109)$$

$$\gamma = \alpha \cos(\beta) \text{ ve } \delta = -\alpha \sin(\beta) \Rightarrow f(t) = \gamma \cos(\lambda t) + \delta \sin(\lambda t) \quad (2.110)$$

$$\alpha = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2} \quad (2.111)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{-\delta}{\gamma}\right); \text{ burada } -\frac{\pi}{2} < \phi < \frac{\pi}{2} \quad (2.112)$$

Bu fonksiyonlar, bir sonraki bölümde daha detaylı olarak incelenecektir.

¹⁷⁸ HATANAKA, Michio, “A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point”, Research Momerandum No 53, Princeton University, Econometric Reseach Program, Princeton, 1965.

Spektral analizinin temelini, verilen bir zaman serisinin farklı frekanslardaki çok sayıdaki sinüs dalgalarından oluştuğunu kabul eden “tek değişkenli spektral model” oluşturur. Ayrıca, birden fazla serilerde, farklı frekanslarına ayrıştırılmış salınımların aynı frekansta olanları arasındaki ilişki de “iki değişkenli veya çapraz spektral model” olarak incelenir. Spektral analiz, özellikle farklı büyüklükler arasındaki gecikmeleri analiz etmede kullanılan önemli bir yöntemdir.

Spektral analiz, özellikle sınırlanabilir durağan serilere uygulandığında, zaman serilerinin belli kategorilerini farklı periyoddaki salınımlara çevirebilmektedir. Diğer bir deyişle, zaman serilerini periyodik fonksiyonlara ayrıştırmaktadır. Daha sonra ise, farklı veri setleri içinde aynı frekansta bulunan bileşenler arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Bileşenlerin oluşturduğu tüm frekanslar ile ve eğer varsa esas frekansı ve harmonikleri izole ederek, zaman serisinin konjonktür davranışı ortaya çıkarılır. Ayrıca, bu yöntemle konjonktür hareketin frekansını ve genliğini de incelenir. Daha sonraki aşamalarda ise, birden fazla serilerin periyodik davranışlarını karşılaştırmak ve aralarında bir korelasyon analiz edilir.

2.2.1.1. Fourier Analizinin Temelleri

Makroekonomik zaman serileri, trend etrafında oluşan döngüsel davranışı gösterirler. Bu döngüsel özellik, zaman serilerinin otokorelasyon fonksiyonunu oluşturur ve bu fonksiyon da Fourier Dönüşümü ile analiz edilebilir. Fen bilimlerinde son derece doğal olan sismik dalgalar, ses spektrogramları, görüntü işleme gibi olayların döngüsel modelleri ortak özellikleridir. Bu olayları daha kolay inceleyebilmek için, analizciler bu olayların zaman serilerine çevrilmiş değerlerini, periyodik fonksiyonlara ayrıştırırlar. Fourier teorisi, $N/1$, $N/2$, $N/3$, ... $(N/2)/2$ veya 2 döngü uzunluğunda veya periyotta olan sinüzoidal bileşenlerin toplamının, N uzunluğundaki zaman serisini yeniden oluşturabileceğini ifade etmektedir¹⁷⁹. Değişik frekanslardaki sinüs ve kosinüs fonksiyonlarından oluşan bu fonksiyonlara Fourier Analizi adı verilir¹⁸⁰.

Fourier Analizi genel periyodik fonksiyonları*, trigonometrik fonksiyonların bir toplamı olarak gösterme temeline dayanır. Bu analizin temel uygulamaları ışığın, sesin

¹⁷⁹ WARNER, Rebecca M., “Spectral Analysis of Time-Series Data”, The Guilford Press, New York, 1988, s.7.

¹⁸⁰ ANDERS, Philipp, “M310 Time Series and Financial Econometrics-Introduction into Spectral Analysis”, Lecture Note, University of Cambridge Faculty of Economics, Lent, 2011, ss.1-14.

* Kendini tekrarlayan fonksiyonlar.

ve diğer tüm radyasyon veya ışınım dalgalarının araştırılmasıdır. İstatistik bilimi ise, zaman serilerinin Fourier gösterimiyle, tüm varyansa en büyük etkiyi yapan frekans bileşeniyle ilgilenmektedir. Bu bileşen tek bir frekanstan ziyade, belli aralıkla oluşan frekans kümeleridir. $(\omega, \omega+d\omega)$ frekans bandı toplam varyansa $f(\omega)d\omega$ kadar katkıda bulunuyorsa; $f(\omega)$, serinin güç spektrumu fonksiyonu olarak adlandırılır. Ekonomistler açısından, güç spektrumunun en önemli bölümü, uzun dönemli bileşenlerini bulunduran alçak-frekans aralığıdır. Uzun dönemde bir trendin bulunması, sıfır frekansa çok yüksek bir değer verecektir, bu da yakındaki frekansların değerlerinin artmasına sebep olacaktır. Sızıntı (*leakege*) etkisi olarak da adlandırılan bu etkinin kaldırılması için bu tür trendler belli yöntemlerle seriden çıkartılmalıdır. Ancak, spektral yöntemlerin etkin sonuç verebilmesi için sadece ortalamadaki değil, varyanstaki trendler de seriden uzaklaştırılmalıdır. Ancak, ekonomik serilerde bunu sağlamak yüzde yüz mümkün değildir. Serinin uzunluğu, uzun dönemli salınımlar ile trendi birbirinden ayırt etmeyi sağlayacak boyda olmalıdır. Ayrıca, doğru analizi yapabilmek için, uzun süreli serinin birden fazla tekrarının sağlanması ve belli zaman aralıkları ile elde edilmiş yeterli verinin toplanmış olmalıdır.

Genelde, ekonomik zaman serileri ışık, ses ve diğer radyasyon dalgaları olarak bilinen teknik dalgalara benzemeseler de; konjonktür dalgalanmalara, ekonomik hareketlere ve bu hareket içindeki otokorelasyon fonksiyonuna; ayrıca bu serilerin özelliklerinin veri dönüşümlerinin etkilerinin ölçülmesine, Fourier Analizi yöntemi ile farklı bir bakış açısı getirilebilir. Bu amaçla, zaman serilerini ayrıştırarak trigonometrik parçalara dönüştürme işlemi, Fourier Dönüşümü olarak adlandırılır. Genel periyodik fonksiyonlar, sinüs ve kosinüs dalgalarının toplamı olarak kabul edilecektir ve trigonometrik polinomlar olarak adlandırılacaktır. Eğer, ele alınan periyodik fonksiyon sürekli ise, yaklaşık olarak şu fonksiyonla gösterebiliriz;

$$f_N(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^N [a_k \cos(\lambda_k t) + b_k \sin(\lambda_k t)] \quad (2.113)$$

Formülde, “ a_k ” ve “ b_k ” sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının “ k ” frekansındaki ağırlıklarıdır.

Serilerin Fourier dönüşümü sırasında, sadece belli sayıda veya sayılabilir miktardaki veriler yerine, normal dağılıma sahip olan seriden mümkün olduğunca fazla

veriyi değerlendirmek daha gerçekçi bir sonuç verecektir. Bu amaçla da, sonlu sayıdaki seriler yerine tüm hattı içeren integral kullanılabilir¹⁸¹.

Eşitlik 2.113'deki toplama, $-\pi \leq \omega \leq \pi$ aralığındaki sonsuz sayıda frekans dâhil edilerek, periyodik fonksiyonun mükemmel uyumu sağlanabilir. Burada, toplam işareti, entegral işareti ile yer değiştirirken, a_k ve b_k fonksiyonları ise integrali alınabilen ve sürekli $a(\lambda)$ ve $b(\lambda)$ fonksiyonları ile yer değiştirilerek aşağıdaki eşitliğe dönüşür;

$$f(t) = \int_0^{\pi} [a(\lambda) \cos(t\lambda) + b(\lambda) \sin(t\lambda)] d\lambda \quad (2.114)$$

$e^{\pm ix} = \cos(x) \pm i\sin(x)$ Gauss formülünü ve sinüs ve kosinüs formüllerinin simetri özelliğini kullanarak ($\sin(x) = -\sin(-x)$, $\cos(x) = \cos(-x)$ gibi), Eşitlik 2.114 şu şekilde yazılabilir;

$$f(t) = \int_{-\pi}^{\pi} \tilde{f}(\lambda) e^{-i\lambda t} d\lambda \quad (2.115)$$

Burada,

$$\tilde{f}(\lambda) = \begin{cases} \frac{\alpha(\lambda) - i\beta(\lambda)}{2} & ; -\pi \leq \lambda < 0 \\ \frac{\alpha(0)}{2} & ; \lambda = 0 \\ \frac{\alpha(\lambda) + i\beta(\lambda)}{2} & ; 0 < \lambda \leq -\pi \end{cases} \quad (2.116)$$

$f(t)$ fonksiyonu bilindiği zaman, Ters Fourier Dönüşümü $\tilde{f}(\lambda)$ yeniden yazılabilir. $\tilde{f}(\lambda)$ 'yi çözmek için Eşitlik 2.115'ün her iki tarafı e^{ikt} ile çarpılır ve $(-\pi, \pi)$ aralığında integralleri alınır. Bu işlem sonucunda eşitlik aşağıdaki şekli alır;

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{ikt} dt = \int_{-\pi}^{\pi} \tilde{f}(\lambda) \left[\int_{-\pi}^{\pi} e^{-i(\lambda-k)t} dt \right] d\lambda \quad (2.117)$$

¹⁸¹ GRANGER, Clive W.J., MORGENSTERN, Oscar, "Spectral Analysis of New York Stock Market Prices", Princeton University, Econometric Research Program, Research Memorandum No 45, Eylül 1962.

$\int_{-\pi}^{\pi} e^{i(n-m)x} dx = \left[\frac{1}{ik} e^{ikx} \right]_{-\pi}^{\pi} = 0$ eşitliğini kullanarak da;

$$\tilde{f}(\lambda) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{ikt} dt \quad (2.118)$$

Burada eşitliğin sol tarafın frekans düzleminde iken, sağ tarafı zaman düzleminde.

Ele alınan periyodik fonksiyon ayrık ve kendisini T gözlemden sonra yineliyorsa (yani, $y(t) = y(t + T) \forall t = 1, \dots, \infty$ ise), $\left(\frac{T}{2} + 1\right)$ trigonometrik polinomları kullanılarak $y(t)$ serisinin kopyası oluşturulabilir.

Özellikle, n değerini aşağıdaki şekilde belirlersek;

$$n = \begin{cases} \frac{T}{2}, & \text{eğer } T \text{ çift sayısı ise} \\ \frac{T-1}{2}, & \text{eğer } T \text{ tek sayısı ise} \end{cases} \quad (2.119)$$

ve baz frekansları da aşağıdaki şekilde sınırlarsak;

$$\lambda_j = \frac{2\pi j}{T}, j = 1, 2, 3, \dots, \frac{T}{2} \quad (2.120)$$

$t=1, 2, 3, \dots, \infty$ değerleri için, gözlemlenen ayrık seri $y(t)$ göz önüne alındığına, tüm bu gözlemleri aşağıdaki yeni bir fonksiyonda gösterebiliriz;

$$f_n(t) = \frac{a_0}{\sqrt{T}} + \sqrt{2 \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{n-1} [a_k \cos(\lambda_k t) + b_k \sin(\lambda_k t)]} + T^{-0.5} a_n (-1)^T \quad (2.121)$$

$y(t) = p_n(t) \forall t$ 'dir ve toplamın önündeki çarpan gösterim kolaylığı için ölçeklendirilmiştir.

$\gamma \cos(\lambda t) + \delta \sin(\lambda t) = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2} \cos(\lambda t - \emptyset)$ eşitliğini kullanarak da bu eşitliği şu şekilde de yazabiliriz;

$$f_n(t) = \frac{a_0}{\sqrt{T}} + \sqrt{2} \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{n-1} [p_k \cos(\lambda_k t - \phi_k)] + T^{-0.5} a_n (-1)^T \quad (2.122)$$

$$\phi = \frac{b_k}{a_k} \text{ ve } p_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (2.123)$$

Fourier Analizi ile ilgili detaylı bilgi Nerlove, Grether ve Carvalho'nun (1995) *Analysis of Economic Time Series* adlı eserde bulunabilir.

2.2.1.2. Katsayıların Bulunması

Ayrık bir zaman zaman serisinden elde edilen gözlem değerlerine göre Fourier katsayılarının bulunması için aşağıdaki eşitliklerden faydalanılır;

$$a_0 = T^{-0.5} \sum_{t=1}^T y_t \quad (2.124a)$$

$$a_j = \sqrt{\frac{2}{T}} \sum_{t=1}^T y_t \cos\left(\frac{2\pi j}{T} t\right); \quad j = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (2.124b)$$

$$a_n = T^{-0.5} \sum_{t=1}^T y_t (-1)^t \quad (2.124c)$$

$$b_j = \sqrt{\frac{2}{T}} \sum_{t=1}^T y_t \sin\left(\frac{2\pi j}{T} t\right); \quad j = 1, 2, \dots, (n-1) \quad (2.124d)$$

Bu eşitlikler yardımıyla, ele alınan serinin katsayılarını belirledikten sonra, Eşitlik 2.122'yi kullanarak, a_1, a_2, \dots, a_n ve b_1, b_2, \dots, b_n katsayılarına karşılık gelen, p_1, p_2, \dots, p_{n-1} değerleri bulunur; a_n^2 de p_n 'e karşılık gelir. p_k 'nın ana frekans $\lambda_j, \forall 1, \dots, n$ 'ye göre çizimine "spektrogram" denir. Gösterime bağlı olarak da bazı durumlarda, p_k, p_k^2 ile yer değiştirir veya ordinatlar periyod $\left(\frac{2\pi}{\lambda_j}\right)$ boyunca gösterilir ve bu grafik de

“periyodogram” olarak adlandırılır*. Eşitlik 2.133’leri kullanarak $j=1,2,\dots,(n-1)$ için aşağıdaki denklemi elde ederiz;

$$p_j^2 = \frac{2}{T} \left[\left(\sum_{t=1}^T y_t \sin\left(\frac{2\pi j}{T} t\right) \right)^2 + \left(\sum_{t=1}^T y_t \cos\left(\frac{2\pi j}{T} t\right) \right)^2 \right] \quad (2.125)$$

Eşitlik 2.125’de, $\left(\frac{2\pi}{\lambda_j}\right)$ ’yi λ_j ile yer değiştirdiğimizde ve Gauss Formülünü uyguladığımızda, periyodogram kısa olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$p_j^2 = \frac{2}{T} \left| \sum_{t=1}^T y_t e^{-i\lambda_j t} \right|^2 \quad (2.126)$$

Burada i sanal sayıdır. $k=1, 2, \dots, n$ değerleri için $\sum_{t=1}^T \cos\left(\frac{2\pi k j}{T} t\right) = 0$ ve benzer olarak $\sum_{t=1}^T \sin\left(\frac{2\pi k j}{T} t\right) = 0$ olduğu için, Eşitlik 2.126’yı aşağıdaki şekilde yazabiliriz;

$$p_j^2 = \frac{2}{T} \left| \sum_{t=1}^T y_t e^{-i\lambda_j t} - \bar{y} \sum_{t=1}^T e^{-i\lambda_j t} \right|^2 = \frac{2}{T} \left| \sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y}) e^{-i\lambda_j t} \right|^2 \quad (2.127)$$

burada; $\bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_t$ dir.

Başka bir anlatımla, λ frekansındaki spektral yoğunluk, p_j^2 , aynı frekanstaki terimleri ile ağırlıklandırılmış serilerin varyansıdır.

2.2.1.3. Stokastik Sürecin Spektral Gösterimi

Fourier analizi ile spektral gösterim arasında çok da az olsa bazı farklılıklar vardır. Bunlardan birincisi, stokastik sürecin bir parametresi olduğu için, spektral analizin gösteriminde matematiksel beklenti fonksiyonunun kullanılmasıdır. Çünkü,

*Çalışmalar genellikle spektrogram üzerine yapılır, ancak periyodogram ve spektrogram çoğu çalışmada eşanlamlıdır.

ekonomik uygulamalarda genellikle stokastik süreçten alınan bir örnek kullanılır. İkincisi ise, Fourier analizi ayrık araklılarda kullanılırken, spektral analiz sürekli bir fonksiyon olarak kullanılır¹⁸².

Önceki bölümde, verilen bir döngüsel fonksiyonun yapılan gözlemlerinden elde edilen ağırlıklar bulunmuştu. Burada ise, verilen ağırlık değerlerinden döngüsel fonksiyonu elde etmek amaçlanacaktır.

Döngüsel (*periodic*) sürecin aşağıdaki eşitlikte olduğu varsayılırsa;

$$y_t = \sum_{j=1}^M (\alpha_j \cos(\lambda_j t) + \beta_j \sin(\lambda_j t)) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2.128)$$

Burada $\lambda_j \in [0, \pi]$, $j = 1, 2, \dots, M$ olarak sabit parametreler olarak alınmıştır. Burada λ 'nın, Eşitlik 2.140 formunda olması gerekmektedir. Burada M adet frekansın süreçte olduğu düşünülmüştür. $\gamma \cos(\lambda t) + \delta \sin(\lambda t) = \sqrt{\gamma^2 + \delta^2} \cos(\lambda t - \phi)$ denklemi, kosinüs fonksiyonları cinsinden yukarıdaki süreçleri basitleştirecektir.

Bununla beraber, ekonomik zaman serileri bu şekilde mekanik bir süreci takip etmezler, ancak bu tür döngüsel süreçlere yaklaşma eğilimi gösterirler. Eğer α ve β parametreler ise y_t 'nin ortalaması zamanla değişir ve bu da zaman serisinin durağan olmadığını gösterir. Ancak α ve β 'nin her ikisi de bağımsız ve eşit dağıtılmış (*independent and identically distributed – IID*) olarak ve sıfır ortalamalı ve σ_j^2 varyanslı değişkenler değerlendirilirse, öncelikle şu bilgileri elde ederiz;

$$E[y_t] = 0$$

$$Var[y_t] = \sum_{j=1}^M \sigma_j^2$$

$$E[y_t y_{t-\tau}] = \gamma(t) = \sum_{j=1}^M \sigma_j^2 \cos(\lambda \tau)$$

¹⁸² HATANAKA, Michio, "A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point", Research Momerandum No 53, Princeton University, Econometric Reseach Program, Princeton, 1965.

$\cos(x \pm y) = \cos(x)\cos(y) \mp \sin(x)\sin(y)$ ve $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$ (pisagor)

eşitlikleri son ifadeyi türetmek için kullanılmıştır. Ayrıca, Eşitlik 2.127'ye benzerliğe dikkat edilebilir.

Üstel terimlerle çalışmak daha kolay olacağı için, karmaşık süreç ele alınarak büyük bir sadeleştirme yapılabilir;

$$y_t = \sum_{j=1}^M z_t e^{-i\lambda_j t} = \sum_{j=1}^M (A_j + iB_j)(\cos(\lambda_j t) - i\sin(\lambda_j t)) \quad (2.129)$$

$$y_t = \sum_{j=1}^M \underbrace{[A_j \cos(\lambda_j t) + B_j \sin(\lambda_j t)]}_{\text{Gerçek Kısım}} + i \underbrace{[B_j \cos(\lambda_j t) - A_j \sin(\lambda_j t)]}_{\text{Sanal Kısım}} \quad (2.130)$$

Burada, ilk grup eşitliğin reel kısmını, ikinci grup ise sanal kısmını gösterir ve i sanal (*imaginary*) işareti ile gösterilir. Bu eşitlik reel ve sanal eksenler boyunca iki-boyutlu bir süreçtir. Konu, ekonomik zaman serileri bakımından değerlendirildiğinde sanal kısım daha sonra çıkarılır. Şu anda bile, bu gösterim türevleri basitleştirecektir. Bu eşitliğin reel kısmının, 2.148 numaralı eşitliğe özdeş olduğu görülmektedir.

Önemli not:

$z = A + iB$ şeklinde karmaşık değerli rastgele değişken olsun, bu durumda; $\bar{z} = A - iB$ karmaşık eşleniği olurken, $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$, z 'nin Öklid uzaklığı (*euclidean norm*) veya mutlak değeri olarak gösterilir. Ayrıca, $\mathbb{E}[z] = \mathbb{E}[A] + i\mathbb{E}[B]$ ve $\text{cov}(z_i, z_j) = \mathbb{E}[(z_i - \mathbb{E}[z_i])(z_j - \mathbb{E}[z_j])]$.

Karmaşık sayılar ile ilgili detaylı bilgi, Nerlove, Grether ve Carvalho'nun (1995) *Analysis of Economic Time Series* adlı eserinde bulunabilir.

Bir sonraki aşamada, kompleks sürecin otokorelasyon fonksiyonu belirlenir;

$$\begin{aligned}
\gamma(\tau) &= \mathbb{E}[y_t y_{t+\tau}] = \mathbb{E} \left[\sum_{j=1}^M z_j e^{-i\lambda_j t} \sum_{j'=1}^M z_{j'} e^{i\lambda_{j'}(t+\tau)} \right] \\
&= \mathbb{E} \left[\sum_{j=1}^M \sum_{j'=1}^M z_j z_{j'} e^{-i\lambda_j t} e^{i\lambda_{j'}(t+\tau)} \right] \\
&= \sum_{j=1}^M e^{i\lambda_j \tau} \mathbb{E}[z_j z_j]
\end{aligned}$$

Burada, ikinci eşitlik $\mathbb{E}[z_j z_{j'}] = \mathbb{E}[z_j] \mathbb{E}[z_{j'}] = 0$ ve üçüncüde $j = j'$ olmuştur. Böylece;

$$\gamma(\tau) = \sum_{j=1}^M e^{i\lambda_j \tau} \sigma_j^2 \quad (2.131)$$

$\tau=0$ için $\text{var}[y_t] = \sum_{j=1}^M \sigma_j^2$ dir ve sürecin rastgele katsayılarından meydana gelen Eşitlik 2.128'in varyansı, sürecin parçalarının varyansının toplamına eşittir. Daha önemlisi, bu eşitlik frekans düzlemi ile zaman düzlemi arasındaki ilişkiyi sağlar. Eşitliğin sol tarafı zaman düzleminde tanımlanmışken, sağ tarafı $j = 1, 2, \dots, M$ için λ_j frekansları temel alınarak belirlenmiştir. Ancak buradaki frekans, Eşitlik 2.119'deki frekanstan farklı olabilir.

Spektral Yoğunluk Fonksiyonu (*Spectral Density Function*) da şu şekilde belirlenebilir;

$$f(\lambda) \equiv \begin{cases} \sigma_j^2 & \lambda = \lambda_j = -\lambda_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \text{ için} \\ 0 & \text{diğerleri için} \end{cases}$$

Eşitlik 2.127 ve $\tau=0$ iken, Eşitlik 2.131 ile arasındaki fark, önceki eşitliğin herhangi bir devirli (*periodic*) fonksiyonun örnek varyansını, 2.124 numaralı eşitlikler yardımıyla bu fonksiyonu oluşturan genliklerle ilişkilendirmesi iken (burada 2.123 numaralı eşitlik tekrar gözden geçirilebilir); sonraki Eşitlik 2.128, stokastik süreç eşitliğini temel olarak alınır ve varyansı da, α_j ve β_j rastgele değişkenlerinin tekrarlanan çizimleri sonucunda ortaya çıkan değişimi olarak yorumlanır. İlgilenilen kısım öncelikle reel kısım olduğu için;

$$\tilde{f}(\lambda) \equiv \begin{cases} 0,5\sigma_j^2 & \lambda = \lambda_j = -\lambda_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \text{ için} \\ 0 & \text{diğerleri için} \end{cases}$$

$j = 1, 2, \dots, M$ için $\lambda_j = -\lambda_j$ ve $\cos(x) = \frac{1}{2}(e^{ix} + e^{-ix})$ eşitliğine göre açılım yapıldığında otokorelasyon fonksiyonunun reel kısmının gösterimi aşağıdaki şekilde olur;

$$\operatorname{Re}(\gamma(\tau)) = \sum_{j=-M}^M \tilde{f}(\lambda_j) e^{i\lambda_j \tau} = \sum_{j=1}^M \cos(\lambda_j \tau) \sigma_j^2 \quad (2.132)$$

Burada, $\tilde{f}(\lambda_j)$ reel kısmın spektral yoğunluk fonksiyonudur. Bunu kavramak için iki adım daha ileri gidilebilir. Birinci adımda, Eşitlik 2.128 genişletilerek, sadece rastgele seçilmiş M frekansları yerine mümkün olan tüm frekanslar için gözlemlenen dizi oluşturulur. İkinci olarak da, hazır olan otokovaryanslardan bilinmeyen spektral yoğunluk fonksiyonunu çıkarmak için Eşitlik 2.118 yardımıyla, Eşitlik 2.132'de $\tilde{f}(\lambda_j)$ yeniden düzenlenebilir. Eşitlik 2.129'da yerine konursa;

$$y_t = \int_{-\pi}^{\pi} z(\lambda) e^{i\lambda t} d\lambda$$

Burada, $z(\lambda)$, sürekli, karmaşık değerli rastgele değişkendir ve $z(\lambda) = A(\lambda) + iB(\lambda)$ biçimindedir. $A(\lambda)$ ve $B(\lambda)$ sürekli rastgele değişkenlerdir. Eşitlik 2.131'de benzer olarak;

$$\gamma_t = \int_{-\pi}^{\pi} f(\lambda) e^{i\lambda t} d\lambda \quad (2.133)$$

elde edilir ve Ters Fourier Dönüşümü uygulanarak;

$$f(\lambda) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \gamma(\tau) e^{-i\lambda \tau} \quad (2.134)$$

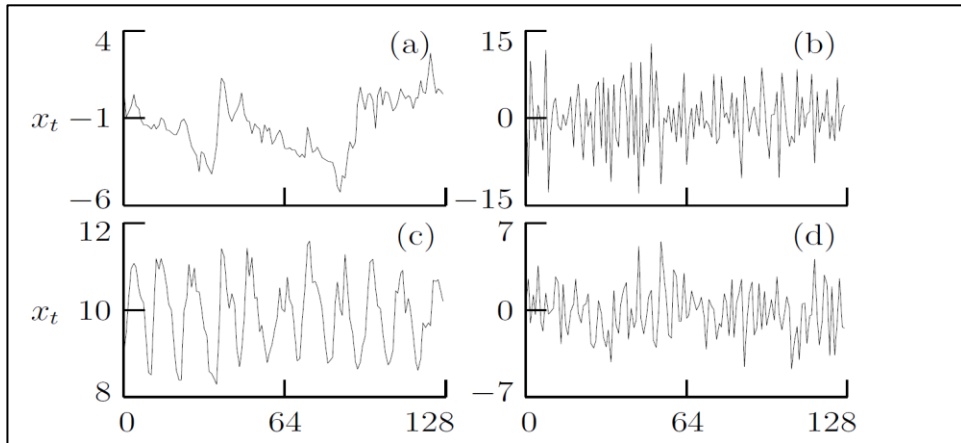
elde edilir. Burada çok sayıda sayılabilir otokovaryanslar olduğundan dolayı toplam işaretini kullanmak daha uygundur. Otokorelasyon fonksiyonunun simetri özelliğinden faydalanarak da $(\gamma(\tau) = \gamma(-\tau))$ bu eşitliği aşağıdaki şekilde yeniden yazabiliriz;

$$f(\lambda) = \frac{1}{2\pi}\gamma(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{\infty} \gamma(\tau)\cos(\lambda\tau) \quad (2.135)$$

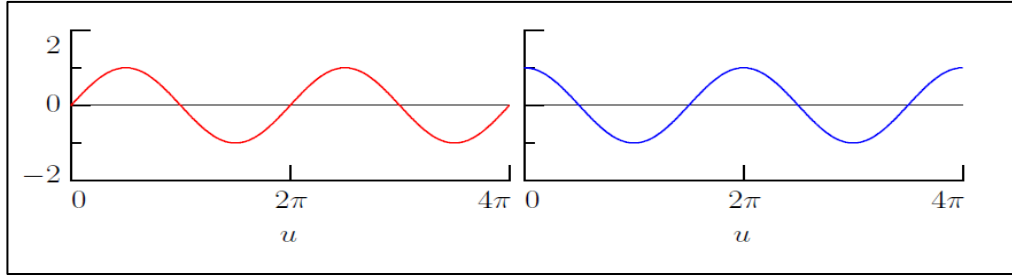
2.2.1.4. Zaman Serileri ve Spektral Analiz Örnek Gösterim

Spektral analiz ile ilgili matematiksel teoriye girmeden önce, anlatımda kolaylık sağlama için basit örnekler ve görsel açıklamalar temel kavramları anlatmak için faydalı olacaktır. Buradaki gösterimler basit ve karmaşık olmayan uygulamalar olup, gerçek hayattaki olaylar daha karmaşık olduğundan, bu bölümde gösterilen şekilde analiz etmek mümkün değildir. Şimdi, Zaman serileri ve Spektral Yöntemin ana fikrini aşağıdaki örnek üzerinde gösterebiliriz;

Elimizde $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_{128}$ şeklinde bir veri seti olduğunu ve bu verilerin zaman düzlemindeki grafikleri de aşağıdakilerinden biri şeklinde olduğunu varsayalım. Spektral yöntem bu serileri sinüs ve kosinüslere çevirerek açıklar.

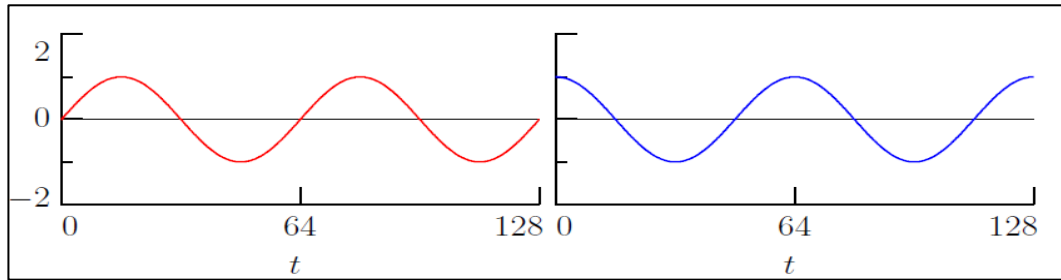


Şekil 2.29: Dört Farklı Zaman Serisi Örneği



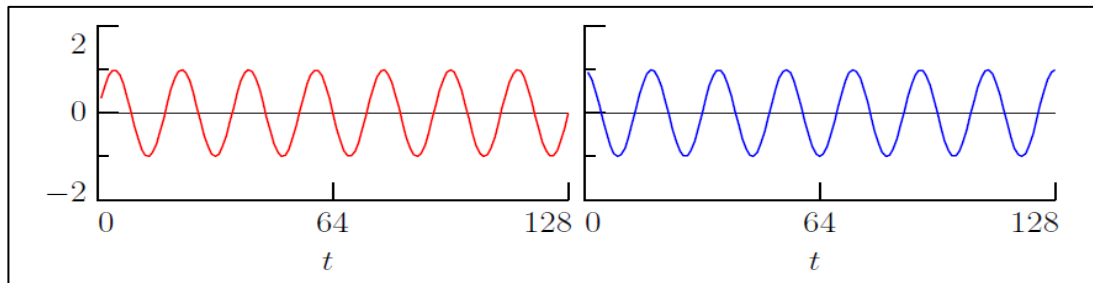
Şekil 2.30: 0-4π Aralığında Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları

$u = 2\pi \frac{2}{128} t$; $t = 1, 2, 3, \dots, 128$ olduğunda; t 'ye göre sinüs ve kosinüs fonksiyonları $\sin(2\pi \frac{2}{128} t)$ ve $\cos(2\pi \frac{2}{128} t)$ aşağıdaki şekillerde oluşur ve $\frac{2}{128}$ oranı da 128 zaman serisi boyunca 2 döngü olarak yorumlanır.



Şekil 2.31: Frekansları “2/128” olan Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları

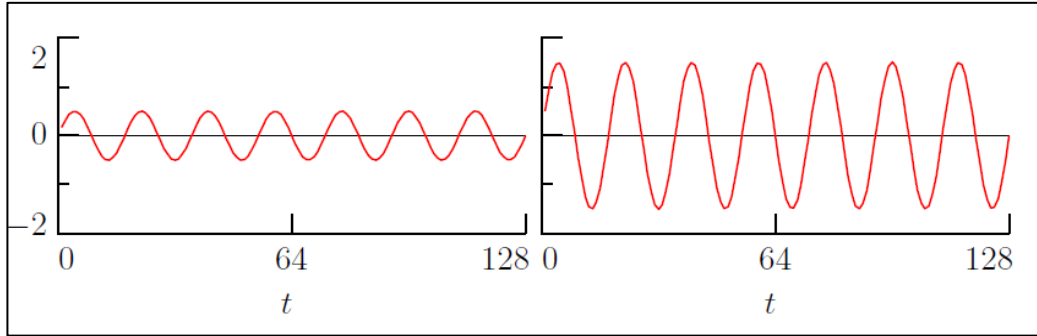
$u = 2\pi \frac{7}{128} t$; $t = 1, 2, 3, \dots, 128$ olduğunda ise; t 'ye göre sinüs ve kosinüs fonksiyonları $\sin(2\pi \frac{7}{128} t)$ ve $\cos(2\pi \frac{7}{128} t)$ aşağıdaki şekillerde oluşur ve $\frac{7}{128}$ oranı da 128 zaman serisi boyunca 7 döngü olarak yorumlanır.



Şekil 2.32: Frekansları “7/128” olan Sinüs ve Kosinüs Fonksiyonları

$\frac{k}{128}$, sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının frekansı olarak adlandırılır ve “ f ” işareti ile gösterilir. Eğer “ k ” küçük ise, sinüs ve kosinüs serilerinin düşük frekansa; “ k ” büyük ise, sinüs ve kosinüs serilerinin yüksek frekansa sahiptir.

$\sin(2\pi \frac{k}{128} t)$ ve $\cos(2\pi \frac{k}{128} t)$ fonksiyolarının genlikleri bir (1) dir. $0,5 \sin(2\pi \frac{7}{128} t)$ ve $1,5 \sin(2\pi \frac{7}{128} t)$ fonksiyonları sırasıyla 0,5 ve 1,5 genlikte olup grafikleri aşağıdaki şekildedir.

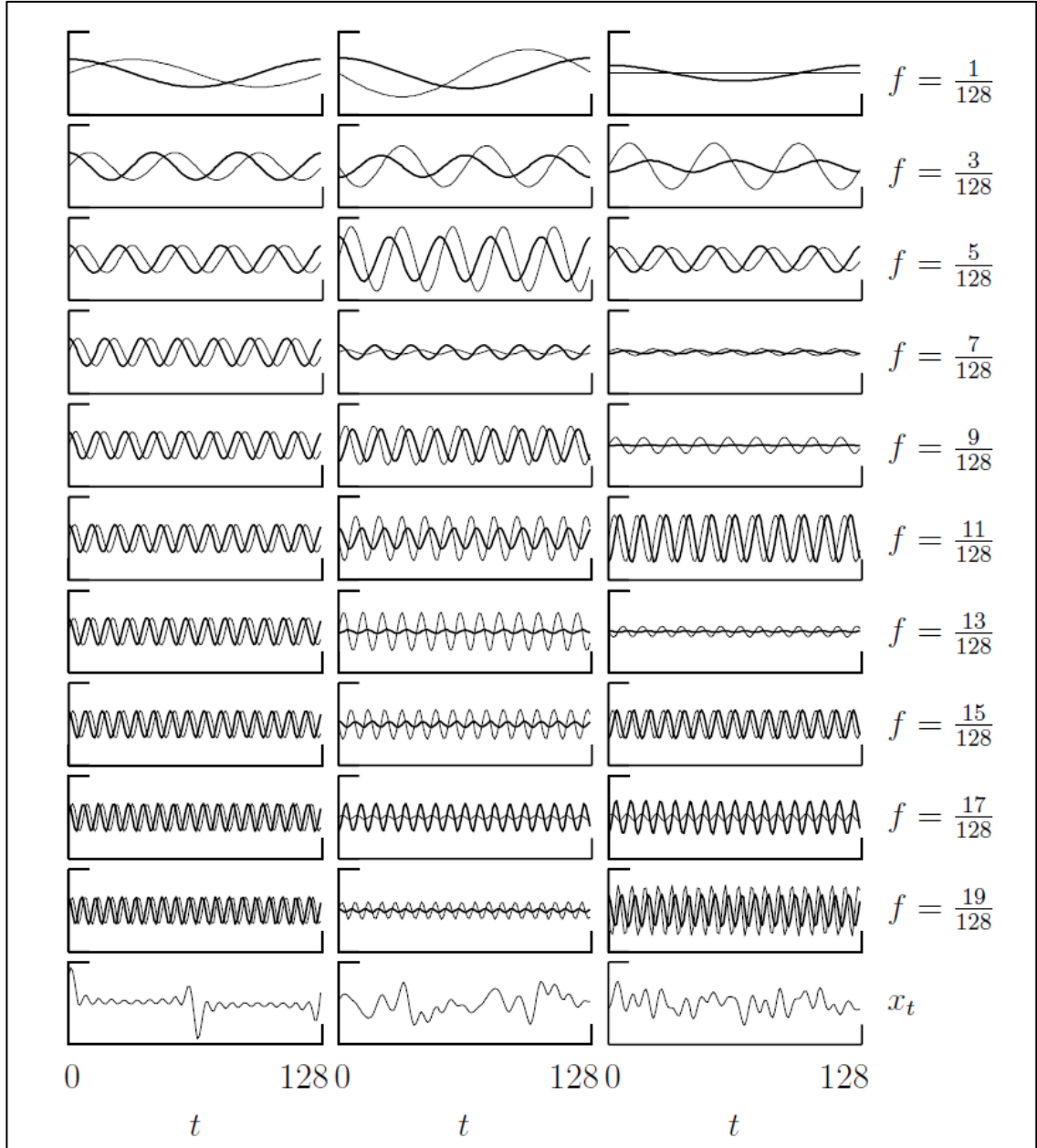


Şekil 2.33: Frekansları “7/128” olan 0,5 Genlikli Sinüs ve 1,5 Genlikli Kosinüs Fonksiyonları

Bu şekilde yapay olarak oluşturulmuş farklı genlik ve frekanstaki sinüs ve kosinüs fonksiyonları toplandığında gerçek zaman serisini elde etmek mümkündür. Şekil 2.34’de farklı genlik ve frekanstaki sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamı fonksiyon en alt sırada $x(t)$ ile gösterilmiştir. Şekilde ilk sütun genliği bir olan sinüs ve kosinüs dalgalarını göstermektedir. İkinci ve üçüncü sütunlardaki genlikler ise tesadüfidir. Burada amaç, farklı genlik ve frekansta pek çok sinüs ve kosinüs fonksiyonunu bir araya getirerek asıl zaman serisine benzeyen yapay bir zaman serisi elde etmektir.

Her zaman serisi için farklı a_k ve b_k katsayıları mevcuttur ve zaman serilerinin tekrar oluşumunu gösterir. Farklı zaman serileri a_k ve b_k değerleri kullanılarak yoluyla karşılaştırılır. a_k ve b_k değerleri ise şu formüller yardımıyla bulunabilir.

$$a_k = \frac{1}{64} \sum_{t=1}^{128} x_t \sin(2\pi \frac{k}{128} t) \quad (2.136)$$



Şekil 2.34: Farklı Genlik ve Frekanstaki Sinüs ve Kosinüslerin Toplamı

$$b_k = \frac{1}{64} \sum_{t=1}^{128} x_t \cos(2\pi \frac{k}{128} t) \quad (2.137)$$

Şimdi ise, elimizde $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{128}$ ve $z_1, z_2, z_3, \dots, z_{128}$ şeklinde sıralı değerlerin bulunduğunu ve bu serilerin basit ortalamalarının $\bar{y} = \frac{1}{128} \sum_t y_t$ ve $\bar{z} = \frac{1}{128} \sum_t z_t$; bu serilerin varyanslarının ise,

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{128} \sum_{t=1}^{128} (y_t - \bar{y})^2 \quad \text{ve} \quad \sigma_z^2 = \frac{1}{128} \sum_{t=1}^{128} (z_t - \bar{z})^2 \quad (2.138)$$

Basit korelasyon katsayısı ise y_t ve z_t 'ler arasındaki lineer ilişkiyi ($-1 \leq \hat{\rho} \leq 1$) aralığında ölçer ve aşağıdaki formül ile gösterilir;

$$\hat{\rho} = \frac{\frac{1}{128} \sum_t (y_t - \bar{y}) (z_t - \bar{z})}{\sigma_y \sigma_z} = \frac{\sum_t y_t z_t}{128 \sigma_y \sigma_z} \quad (2.139)$$

$\bar{z} = 0$ olduğunda ikinci eşitlik gerçekleşir.

$\sum_t y_t z_t$ 'nin genliği büyük olduğunda ilişki güçlüdür.

a_k böylece $\bar{z} = 0$ olduğunda, $y_t = x_t$ ve $z_t = \sin(2\pi \frac{k}{128} t)$ arasındaki doğrusal ilişkinin gücüne bağlıdır.

Eşitlik 2.134'den tüm $\frac{k}{128}$ frekansların spektrumunu hesaplamak için ise aşağıdaki fonksiyon kullanılır;

$$S_k = \frac{1}{2} (a_k^2 + b_k^2) \quad (2.140)$$

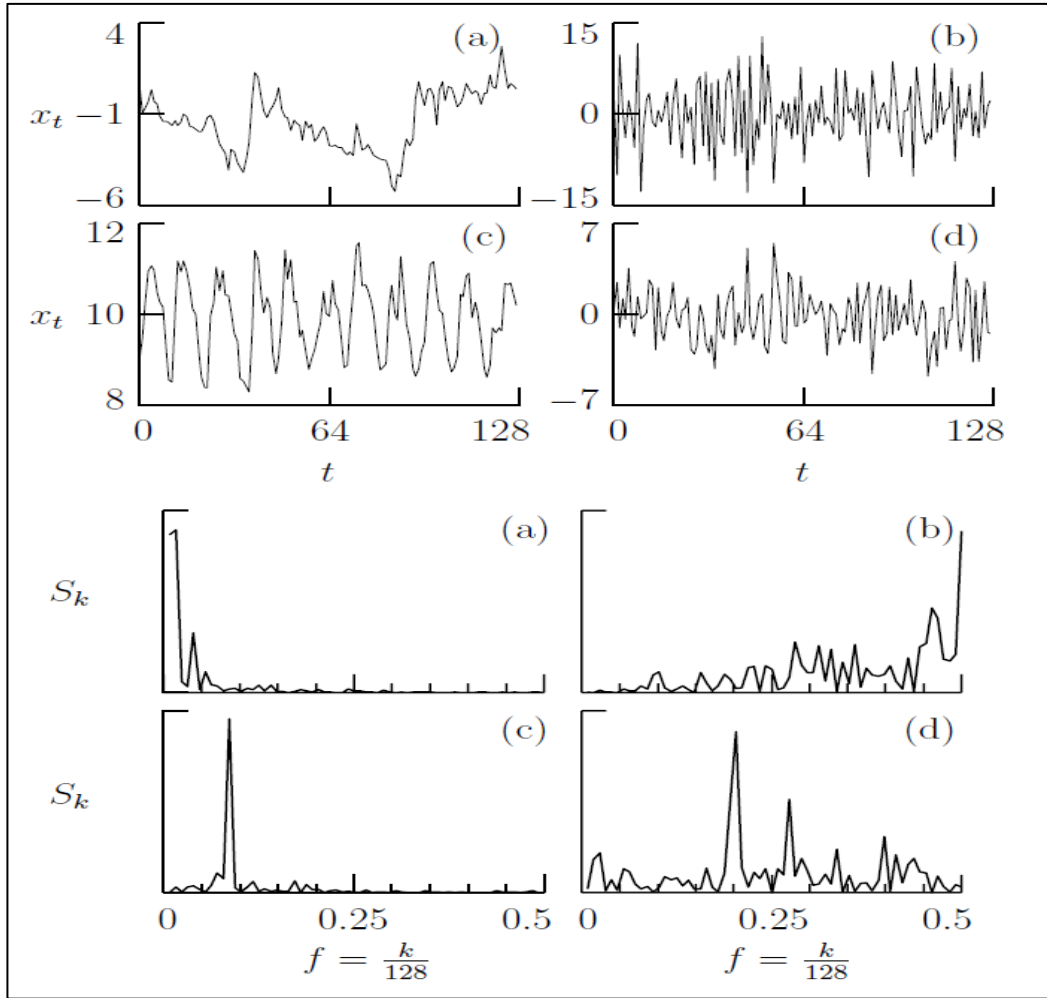
Spektrum ile ilgili temel gerçek ise, spektrumun zaman serilerinin basit varyansını parçalara ayırdığı ve bunların her birini belirli bir frekans ile ilişkilendirildiğini göstermektedir.

$$\sum_k S_k = \frac{1}{128} \sum_{t=1}^{128} (x_t - \bar{x})^2 = \sigma_x^2 \quad (2.141)$$

Spektral analiz bir başka deyişle, σ_x^2 'in farklı frekanslar boyunca yayılmasını gösteren varyans analiz tekniğidir.

Şekil 2.29'da grafikleri verilen serilerinin spektralleri ise, yukarıda Şekil 2.35'te gösterilmiştir¹⁸³.

¹⁸³ PERCIVAL, Don, "Introduction to Spectral Analysis", Seminer, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, 1 Aralık 2000.



Şekil 2.35: Dört Farklı Zaman Serisi Örneği ve Spektraları

Bundan sonraki bölümde, durağan, durağan olmayan, tek değişkenli ve iki ile çok değişkenli zaman serilerinin spektral analizi için Granger'in *Spectral Analysis of Economic Time Series (1964)* çalışması temel alınarak teorik anlatım yapılacaktır.

2.2.2. Durağan Zaman Serileri için Spektral Teori ve Tahmin Yöntemleri

Spektral analiz yöntemi, elektronikte sinyal işlemede, oşinografide, meteorolojide ve benzer bilimlerde yıllardır kullanılmaktadır. Ancak, bu analizin sosyoekonomik bilimlerde kullanımı, ekonomik zaman serilerine uygulanabilen klâsik spektral tahmin tekniklerinin yetersizliği nedeniyle iyi sonuçlar vermemektedir. Özellikle, etkin frekansın gücünün, komşu frekanslara etkisini tanımlayan sızıntı (*leakage*) olgusu spektral analizin etkin sonuçlar vermesini engelleyebilmektedir. Bununla beraber, spektral tahmin algoritmasındaki yeni yöntemler sızıntıyı engellemeye

yardımcı olarak, ekonomik bağlamda daha verimli ve etkin çalışmaların yapılmasını sağlamaktadır.

Periyodik olan zaman serilerini tahmin etmek daha kolaydır, bu düşünce de spektral analizin gelişmesine destek vermiştir. Spektral analiz, zaman serileri içine gömülmüş olan genlik, frekans ve faz değerlerini bulmak için kullanılabilir¹⁸⁴. Ancak, fizik ve matematik tabanlı temel bilimlerin kolları olan elektrik, ses, deniz bilimi, hava bilimi gibi alanlarda çok rahatlıkla kullanılan spektral analiz teknikleri; ekonomik verilerin zamanla değişmesi, trend, konjonktür ve mevsimsel dalgalar içermesi, durağan olmaması gibi nedenlerle, temel bilimlerdeki kadar kolay analiz edilemeyebilirler. Ayrıca, temel bilimlerde kullanılan pek çok teknik, ekonomik zaman serileri için verimli sonuçlar vermeyebilir.

Ekonomik zaman serilerinin diğer özelliklerinden biri de durağan olmamaları, diğer bir deyişle barındırdıkları trendin, durağan olmama karakterinin bir özelliği olmasıdır. Ancak bu özellik, durağan olmayan zaman serilerinin analizine kolaylık sağlayacak niteliktedir. Varyanstaki trend ise, yine zaman serilerinde sürekli olarak görülebilen bir özelliktir. Spektral analiz yöntemlerinin, zaman serilerini durağan olarak kabul etmesi ancak, ekonomik zaman serilerinin hiçbir zaman durağan olmaması nedeniyle başarılı olamayacağı düşünülür. Bununla beraber, Princeton Üniversitesi'ndeki pek teorik ve deneysel çok çalışma, zaman serilerin altındaki yapı zaman içinde çok hızlı bir şekilde değişmediği sürece, spektral analizin ve çapraz spektral analizin güvenle kullanılabileceğini göstermiştir¹⁸⁵.

Ancak, daha etkin sonuçlar elde etmek için, istatistik bilimine özel uygulamalar geliştirmek gerekli olabilir; ancak, bu uygulamaların da her zaman doğru sonuç vereceği sorgulanabilir. Örneğin, Hodrick-Prescott istatistik filtresi, bitiş noktası eğiliminden (*end point bias*) zarar görmektedir. Bant geçiren filtre (*band-pass filter*) ise, zaman serilerinin başlangıç ve bitiş bölgelerinde gözlem kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla, ancak uygun spektral yöntemin seçilmesi ve doğru uygulanması ile gerçek analiz yapılabilir.

¹⁸⁴ ALLEN, Myles R.; DETTINGER, Michael D.; GHIL, Michael; IDE, Kayo; KONDRASHOV, Dmitri; MANN, Mike; ROBERTSON, Andrew W.; SAUNDERS, Amira; TIAN, Yudong; VARADI, Ferenc; YIOU, Pascal, "Advanced spectral methods for climatic time series", *Reviews of Geophysics*, Cilt 40, Sayı 1, 2002, ss.1-41.

¹⁸⁵ GRANGER, Clive W. J.; MORGENSTERN, Oscar, "Spectral Analysis of New York Stock Market Prices", Princeton University, Econometric Research Program, Research Memorandum No 45, Eylül 1962.

Bu sorunları çözmek ve daha etkin bir analiz yapabilmek için pek çok araştırmacı değişik çalışmalar yapmaktadırlar. Bunlardan Pollock (2008), Owens ve Sarte (2005) yaptıkları çalışmalarda spektral düzlemdeki analiz sonuçlarının, zaman düzlemine göre, zaman serilerinin yapısına ve döngüsel davranışa daha iyi bir anlam kazandırdığını görmüşlerdir. Zaman düzleminde açıklanamayan pek çok konu, spektral analiz tekniği ile bazı cevaplara kavuşmuş, özellikle döngüsel ekonomik olayların yorumlanması sağlanmış ve çapraz spektral analiz yardımıyla da farklı döngüsel ekonomik olayların döngüleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Bunlardan, Wang (1999) spektral analizi ekonomik zaman serilerindeki sürekliliği incelemek için kullanmıştır. Iacobucci (2003) ise, ham veride bile hiçbir şekilde belli olmayan, ABD'deki işsizlik ve enflasyon arasındaki belli frekanslarda bulunabilecek ilişkinin çapraz spektral analiz ve filtreleri kullanarak ne şekilde bulunabileceğini göstermiştir. Higo ve Nadaka (1998) de ekonomik zaman serilerindeki trend-döngü bileşeninin ne şekilde belirleneceğini incelemiştir. Ateşoğlu ve Vilasuso (1999) spektral teknikleri, ABD'deki ihracat artışı ile reel üretim artışı arasındaki ilişkiye, farklı frekans bantlarında uygulamışlar ve uzun dönemli frekans bileşenleri arasında pozitif bir ilişki gözlemlemişlerdir. Croux ve diğerleri ise, zaman düzleminde mümkün olmayan ancak zaman serileri arasında bulunan ilişkileri, dinamik korelasyon (*dynamic correlation*) ve tutarlılık-uyum (*coherence*) gibi spektral yöntemler kullanarak ortaya çıkarmışlardır. Croux ve diğerleri (1999), ilk önce iki zaman serinin birlikte hareketini ölçmek için dinamik korelasyonu ölçmüşlerdir. Bu çalışmada aynı zamanda, birden fazla zaman serisinin birlikte hareketi tutarlılık-uyum (*coherence*) yöntemiyle ölçülmüştür. Croux ve diğerleri (2005) ayrıca dinamik korelasyon ve tutarlılık-uyum yöntemlerini kullanarak, Avrupa Birliği'nin tek bir piyasa olarak kabul edilebilirliğini test etmişlerdir. Croux ve diğerleri (2008) nihayet spektral yaklaşımı Granger nedensellik testine uygulamışlardır. Çalışmalarında, yeni bir yöntem olan Pierce Spektral Granger nedensellik ölçütünü önermişler ve bu yöntemi Avrupa üretim beklenti anketi tahmini kapsamında uygulamışlardır. Wozniak ve Paczyński (2007) ise, Euro bölgesi ile yeni üye ülkeler arasındaki ilişkiyi tutarlılık-uyum (*coherence*) yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir¹⁸⁶.

¹⁸⁶ BÁTOROVÁ, Ivana, "Spectral Techniques for Economic Time Series", Dissertation Thesis, Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Bratislava, 2012, ss.12-15.

Spektral analiz yöntemi yeni bir yöntem olarak hızla gelişmekte ve pek çok araştırmacı yeni teoriler ile yöntemi çeşitlendirmekte iken, bir yandan da dünyanın değişmesine bağlı olarak ekonomik veriler ve bu verileri etkileyen faktörler de değişmektedir. Dolayısı ile sürekli değişen bu şartlar altına kesin ve net bir tahmin yapmak da oldukça zordur. Bu bağlamda, çalışmanın bu bölümünde spektral analiz teknikleri detaylı olarak anlatılarak, bu değişmelere bağlı olarak yeni teori ve yöntemleri açıklanacaktır.

2.2.2.1. Spektral Teori

Spektral analiz, biz zaman serisinin sonlu sayıda zamana bağlı bileşene ayrıştırılmasında kullanılan yöntemler topluluğudur. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, spektral analiz yöntemleri, öngörü ve model tahmininden ziyade, bir bileşenlerine ayrıştırma (*decomposition*) analizidir. Ekonomik zaman serilerinde bulunan bu bileşenler, uzun dönem eğilimini temsil eden trend, periyot uzunlukları tam kesin olmayan konjonktür dalgalanmalar ve bir yıl süreli periyoda sahip mevsimsel etkilerden kaynaklanan düzenli mevsimsel dalgalanmalar olarak tanımlanır. Bu arada, bir zaman serisinde birden çok konjonktür dalgalanmanın etkisi görülebilir. Bunun nedeni, ekonomik zaman serilerinin pek çok ekonomik ve sosyal etkinin altında kalmasıdır. Dolayısıyla, analizin bir amacı da bu dalgalanmaların sayısının belirlenmesidir. Zaman serilerinin bileşenlerine ayrılmasının diğer amaçları da şöyle sıralanmaktadır. Öncelikle, ekonomik aktivitede gözlenen devresel (*periodic*) hareketin dönüm noktalarının tahmin edilmesi amaçlanabilir. İkinci olarak, mevsimsel hareketlerden arındırılan zaman serisinde mevsimsel faktörlerin etkisi araştırılmak istenebilir. Üçüncü bir amaç, ilgilenilen zaman serisinde zamana bağlı fonksiyonel bir etkinin varlığının belirlenmesidir. Son olarak, zaman serilerinin bileşenleri arasındaki ilişkinin varlığı ve eğer var ise bu ilişkinin gücünün araştırılmasıdır¹⁸⁷.

Spektral analiz emtia, vadeli işlemler, menkul kıymetler, para ve döviz piyasalarında pazar etkinliği için gerekli koşulların test edilmesinde de kullanılmıştır. Burada, spektrumun genel spektral şekilde mi olduğu, yoksa rastgele yürüyüş

¹⁸⁷ BASILEVSKY, Alexander; HUM, Derek P. J., "Spectral Analysis of Demographic Time Series: A Comparison of Two Spectral Models and Manitoba Basic Annual Income Experiment", *Recent Developments in Statistics*, Derl: J. R. Barra, F. Brodeau, G. Romier, B. Van Custem, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1977, s.332.

modelinde mi olduğunu incelenmiştir. Spektral analizin finansal istatistikte kullanımı, yöntemin, referans aldığı teknik bilimlerden elektronik mühendisliği ile gelişerek, 1970'lere doğru kesikli zaman serilerine uygulanmaya başlanması ve durağan zaman serilerinin sayılabilir sonsuz sayıda trigonometrik fonksiyonların toplamından oluştuğunu varsayması ile gelişmiştir. Bu fonksiyonların, klâsik çoklu regresyon modelleri ile tahminlerinin yapılamamasının nedeni, periyodun uzunluğunu temsil eden parametrelerin doğrusal hale getirilememesidir. $X_t = a_0 + a_1 \cos(\omega t + \theta)$ eşitliği doğrusallaştırılıp $X_t = a_0 + c_1 \cos \omega t - c_2 \sin \omega t$ haline getirildiğinde, klâsik çoklu değişkenli regresyon analizi ile a_0 , c_1 ve c_2 parametreleri tahmin edilebilmekle birlikte, periyot uzunluğu (ω) EKK (en küçük kareler) ile tahmin edilememektedir¹⁸⁸.

Spektral teoriyi yazabilmek için bazı tanım ve fonksiyonları tanımlamak gerekir;

$\{X_t, t = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty\}$ verisini üreten süreçten elde edilen tek bir örnek zaman serisinin $\{x_t, t = 0, 1, \dots, \infty\}$ şeklinde verildiğini varsayalım. Veri üreten süreci zamanın her anında göstermek gerekse de, stokastik sürecin ve olasılığın doğası gereği bu pek de mümkün değildir. Veri üreten örnek süreçleri aşağıdaki şekilde gösterebiliriz;

$$\begin{aligned} X_t &= \varepsilon_t + b\varepsilon_{t-1} \quad (i) \\ X_t &= a\cos bt + \varepsilon_{t-1} \quad (ii) \\ X_t + aX_{t-1} &= \varepsilon_t \quad (iii) \\ X_t &= p(t) + q(t)\varepsilon_t \quad (iv) \end{aligned} \quad (2.142)$$

Burada;

ε_t ..: rastgele bağımsız serileri,

$p(t)$ ve $q(t)$..: t ile değişen polinom fonksiyonları göstermektedir.

Burada daha karmaşık bir süreç, örneğin, beş birim *süreç i*'den, onu takip eden dört *süreç iv* ve beş *süreç i* veya sürekli olarak *süreç i* veya *süreç iii*'ten rasgele alınan terimlerden oluşabilir. Bu tür serileri analiz etmenin oldukça güç olduğu açıktır.

Analiz terimi ile veri üreten bir süreçten elde edilen örnek veriden, incelenen verinin özelliklerini belirleyerek tahmininin yapılması, bir diğer anlatımla, serinin, örneğin incelenmesinden çıkarılan sonuçlarla yeniden oluşturulması anlatılmak istenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, konu klâsik istatistikteki yığından rastgele örnek seçerek, yığının özelliklerini belirlemeye benzemektedir. Burada, veri üreten

¹⁸⁸ GRANGER, Clive W. J.; NEWBOLD, Paul, "Forecasting Economic Time Series", Academic Press, New York, 1977, s.6.

süreci X_t ve Y_t gibi büyük harflerle, veri üreten süreçten alınan örneklerin ise x_t ve y_t gibi küçük harflerle gösterildiği bilinmelidir. Zaman serilerinde zamanın dâhil edilmesi ve zamanın tek yönde akıyor olması sonucu, t anında bulunurken, $t+1$ 'de serinin hangi değeri alacağı olasılık dağılım fonksiyonu ile belirlenebilir¹⁸⁹. Teorinin geneli veri üreten süreç açısından değerlendirilecek olmasına rağmen, gerekli olan parametreler ve benzer değerler elde olan örnek veriye göre belirlenecektir.

Genellikle veri üreten sürecin özellikleri, ilk ve ikinci momentleri ile açıklanır;

$$m_t = E[X_t], \quad \sigma_t^2 = E[(X_t - m_t)^2], \quad \mu(t, s) = E[(X_t - m_t)(X_s - m_s)] \quad (2.143)$$

Burada, $\mu(t, s)$: X_t ve X_s arasındaki otokovaryans terimini göstermektedir. $E[\]$ beklenti terimi ile ilgili bilgi Ek 1 'de verilmiştir. Bu süreçten elde edilen bağımsız örneklerin ise $\{x_t^{(k)}\}$, $k = 1, 2, \dots, M$ olduğunu ve m_t 'nin şu şekilde tahmin edildiğini varsayalım;

$$\bar{x}_t = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_t^{(k)}, \quad \lim_{M \rightarrow \infty} \bar{x}_t = m_t$$

Burada; \bar{x}_t genel uyum ortalaması (*ensemble average*) olarak adlandırılır ve M sonsuza gittiğinde yığının ortalamasını verme özelliğine sahiptir. Ancak, ekonomide genel uyum ortalaması ile $E[X_t]$ tahmin edilemez. Bu arada, m_t, σ_t^2 ve $\mu(t, s)$ zamanın fonksiyonu olmasına rağmen; önemli ve kullanılabilir olan seriler birinci ve ikinci momentleri zamanın fonksiyonu olmayan serilerdir, bu seriler aşağıdaki özellikleri taşırlar;

$$E[X_t] = m, \quad E[(X_t - m_t)^2] = \sigma^2, \\ E[(X_t - m)(X_s - m)] = \mu(t - s) = \sigma_\tau, \quad \tau = t - s \text{ bütün } t \text{ ve } s' \text{ ler için} \quad (2.144)$$

Bu tür seriler geniş anlamda durağan (*stationary in the wide sense*) veya ikinci dereceden durağan (*stationary to the second order*) olarak adlandırılır; ancak bundan sonra durağan olarak adlandırılacaktır*. Bu tür serilerin kullanılmasının nedeni günlük hayatta sıklıkla bulunmalarının yanında, güçlü matematiksel ve istatistiksel araçların

¹⁸⁹ GRANGER, Clive W. J.; WATSON, Mark W., "Time Series and Spectral Methods in Econometrics - Handbok of Econometrics", Cilt II, Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam, 1984, s.981.

* Durağan terimi burada anlatılandan daha katı şartlara uyan seriler için kullanılmaktadır.

kolaylıkla uygulanmasındandır. Durağan serilerin kullanışlı özelliklerinden biri; ortalamalarının, varyansının ve benzer değerlerinin, örneğin ortalamalarıyla elde edilebilirliğidir, yani;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t; \quad s^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2; \quad C_\tau = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=1}^{n-\tau} (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x})$$

Eşitlikleri, serinin sırasıyla m_t, σ_t^2 ve $\mu(t, s)$ etkin, yansız tahminlerini sağlayacaktır**.

Durağan seriler üreten süreç, durağan süreç olarak adlandırılabilir. Eşitlik 2.142'de (i) ve (ii) numaralı örnekler ve $a < 1$ şartıyla (iii) numaralı örnek durağan süreçlerdir. (iv) numaralı örnek ise $E[\varepsilon_t] = 0$, $E[X_t] = p(t)$, yani ortalama zamanın fonksiyonu olduğu için durağan değildir; ayrıca eğer $p(t) \equiv 0$ durumunda $E[X_t] = 0$ olsa bile $E[X_t^2] = q(t)^2 \sigma_\varepsilon^2$ olduğundan fonksiyonun varyansı zamanın bir fonksiyonudur¹⁹⁰.

Ekonomik zaman serileri, genellikle durağan şartları sağlamamaktadırlar; ancak burada teori ve analizler, konunun anlaşılması açısından öncelikle durağan şartlara uyan serilere göre anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde ise, durağan olmayan zaman serilerinin analizini içerecektir.

2.2.2.2. Güç Spektrumu

Enerjinin matematiksel olarak açıklanması şu eşitlik ile verilebilir;

$$-T \leq t \leq T \text{ aralığında } X(t)'nin \text{ enerjisi} = \int_{-T}^T X(t)^2 dt$$

alınan örnek $x(t)$, veri üreten sürecin $X(t)$ 'nin özelliklerini göstereceğine göre, $X(t)$ 'nin birim zamandaki enerjisi ile $x(t)$ 'nin örnek alınan zaman araklarına göre elde edilecek birim zamandaki enerjisi aynı olmalıdır. Birim zamandaki enerjiye güç denilir, bu nedenle güç eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir¹⁹¹;

** Bunun geçerli olabilmesi için serilerin ergodik (döngel) özelliğine de sahip olması gereklidir. Ergodiklik konusunda daha detaylı bilgi için bk. NERLOVE, Marc; GREETHER, David M.; CARVALHO, José L.; "Analysis of Economic Time Series. A Synthesis", Academic Press, Inc., New York, 1995, ss. 23-30.

¹⁹⁰ GRANGER, Clive W. J.; HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.25-27.

¹⁹¹ KOOPMANS, Lambert H., "The Spectral Analysis of Time Series", Academic Press, Inc., Albuquerque, 1995, s.7.

$$X(t)'gücü = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-T}^T X(t)^2 dt$$

Güç kolaylıkla ölçülememekle beraber, zaman serilerinin çoğunda güç özelliği vardır. Sinüzoidal zaman serileri içeren döngüsel zaman serileri ise, içerdikleri güç özelliği bakımından spektral analiz için çok önemlidirler.

Buraya kadar olan kısımda serilerin reel sayılardan oluştuğu varsayılmıştır, ancak x_t serilerini karmaşık sayılar olarak değerlendirmek, matematiksel olarak daha uygundur. Bu durum, konuya gerçek dışılık kazandırsa da, sürece hiçbir kayıp vermeden işlemlere getireceği kolaylık ve kısalık çok önemlidir. Böylece, $\{X_t\}$ karmaşık durağan süreç olarak düşünülür ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$E[X_t] = 0, \quad E[(X_t \bar{X}_t)] = \sigma^2, \quad E[(X_t, \bar{X}_{t-\tau})] = \mu_\tau \quad (2.145)$$

burada, \bar{X} , X 'in eşleniği (*conjugate*)'dir. Vektör uzay geometrisi ile ilgili detaylı bilgi için Koopmans'ın kitabı incelenebilir.

Veri üreten sürecin aşağıdaki eşitlik ile verildiğini düşünersek;

$$X_t = \sum_{j=1}^k a_j e^{i\omega_j t} \quad (2.146)$$

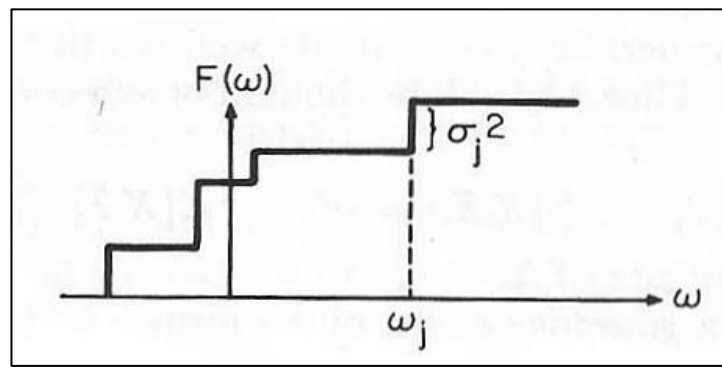
burada $(\omega_j, j = 1, 2, \dots, k)$ ve $|\omega_j| \leq \pi$ olmak üzere gerçekte sayılar ve tüm j 'ler için $E[a_j] = 0$; $E[a_j \bar{a}_j] = \sigma_j^2$, $E[a_j \bar{a}_k] = 0$ ve $j \neq k$ olmak üzere $(a_j, j = 1, \dots, k)$ olarak bağımsız karmaşık rastgele değişkenlerdir. Bu veri üreten süreç, Eşitlik 2.132'e göre periyodu $2\pi/\omega_j$ olan ve $a_j e^{i\omega_j t} = a_j (\cos \omega_j t + i \sin \omega_j t)$ şeklinde yazılabilecek devirli (*periodic*) bir fonksiyondur. Frekans ise, birim zamandaki devir sayısı olarak ölçülür ve periyodun tersidir, $\omega_j/2\pi$ olarak gösterilir. Açısal frekans ise, radyan cinsinden şu

eşitlikle gösterilir; $\omega_j = 2\pi \times \text{frekans}$. Kolaylık açısından açısal frekans ω_j olarak gösterilecek ve karmaşıklık oluşturmamak için kısaca "frekans" olarak adlandırılacaktır.

Eşitlik 2.146'da a_j , alacağı farklı değerlere göre farklı seriler oluşturulabilir. Belirli bir seri için, a_j zaman aralığı boyunca sabit bir değer alacaktır ve serilerin toplamı süreci oluşturacak a_j 'lerin tümü dağılımını belirleyecektir. Bu durumda net olarak;

$$E[X_t] = 0 \text{ ve } \mu_\tau = E[(X_t, \bar{X}_{t-\tau})] = \sum_{j=1}^k \sigma_j^2 e^{i\omega_j \tau} = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\omega \tau} dF(\omega)$$

yazabiliriz; burada $F(\omega)$, $\omega = \omega_j, j = 1, \dots, k$ frekansında basamak aralıkları σ_j^2 olan bir basamak fonksiyonudur. $F(\omega)$ fonksiyonu Şekil 2.36'da gösterilmiştir ve $F(-\pi)=0$ ve $F(\pi) = \sum_{j=1}^k \sigma_j^2 = [X_t]$ 'nin varyansıdır. $df(\omega) = f(\omega + d\omega) - f(\omega)$ olarak gösterilebilecek, frekanstaki küçük artışlardır¹⁹².



Şekil 2.36: Basamak Fonksiyonu

Eşitlik 2.146 şeklindeki süreçler, özellikle ortalaması çıkarılmış ve her örneği döngüsel (*periodic*) fonksiyonların toplamı olan basit doğrusal döngüsel süreçlerdir.

Burada, diğer önemli bir konu da k 'nın sonlu bir sabit değer olmasıdır. Eğer süreci;

$$X_t = \sum_{j=1}^{\infty} a_j e^{i\omega_j t}, \quad \text{tüm } j\text{'ler için } |\omega_j| \leq \pi \quad (2.147)$$

olarak yazarsak ve $\sum_{j=1}^{\infty} |a_j|^2 < \infty$ olduğunu varsayarsak, X_t 'nin varyansı sonlu olacaktır. Ayrıca, $(-\pi, \pi)$ aralığında ayrık noktalar setinin kullanılması da uygulamada ve matematiksel işlemlerde kolaylıklar getirmekte, ayrıca bu şekilde genellemesi mümkün olan tüm durağan işlemleri içermektedir. Cramér, Kolmogoroff, Wiener ve diğerlerinin bu konudaki çalışmaları aşağıdaki önemli sonuçları vermiştir:

¹⁹² PERCIVAL, Donald B., "Spectral Analysis of Univariate and Bivariate Time Series", *Statistical Methods for Physical Science*, Derl: John L. Stanford, Stephen B. Vardeman, Cilt 28, Methods in Experimental Physics, Academic Press Inc., San Diego, 1994, ss.313-348.

i) Durağan bir sürecin μ_τ otokovaryans sıralaması aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$\mu_\tau = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} dF(\omega) \quad (2.148)$$

burada, $\frac{F(\omega)}{\mu_0}$ monoton olarak artan (veya azalmayan) ve $F(-\pi) = 0$, $F(\pi) = \mu_0 = \sigma^2$ ile sınırlı dağılım fonksiyonudur.

ii) Tüm durağan süreçler aşağıdaki biçimde gösterilebilir;

$$X_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} dz(\omega) \quad (2.149)$$

Burada $z(\omega)$, ilintisiz artışlar süreci olarak adlandırılan karmaşık, rastgele bir fonksiyondur ve aşağıdaki özelliklere sahiptir¹⁹³;

$$E[(z(\omega_1) - z(\omega_2))(z(\omega_3) - z(\omega_4))] = 0, \quad \omega_1 \geq \omega_2 > \omega_3 \geq \omega_4$$

$$E[|z(\omega_1) - z(\omega_2)|^2] = F(\omega_1) - F(\omega_2), \quad \omega_1 \geq \omega_2$$

ve böylece,

$$E[dz(\omega_1)\overline{dz(\omega_2)}] = 0, \quad \omega_1 \neq \omega_2$$

$$= dF(\omega), \quad \omega_1 = \omega_2 = \omega$$

Eşitlik 2.148, kovaryans fonksiyonunun spektral gösterimi olarak adlandırılır ve $F(\omega)$ güç spektral dağılımı fonksiyonudur. Eşitlik 2.149, durağan sürecin Cramér gösterimi olarak adlandırılır ve eşitliğin ortalamaların karesini bir sınır olarak tuttuğunu anlamak gereklidir.

Gerçek bir süreç için $\mu_\tau = \mu_{-\tau}$ ve dolayısıyla $dF(\omega) = dF(-\omega)$ ve ayrıca $dz(\omega) = \overline{dz(-\omega)}$. Gerçek değerli $u(\omega)$ ve $v(\omega)$ ile $z(\omega) = \frac{1}{2}[u(\omega) - iv(\omega)]$ 'yi yerine koyarsak $du(\omega) = du(-\omega)$, yani $du(\omega)$ çift fonksiyonu, $dv(\omega) = -dv(-\omega)$, yani $dv(\omega)$ tek fonksiyonu elde ederiz. Böylece;

$$E[du(\omega)^2] = E[dv(\omega)^2] = 2dF(\omega), \quad 0 < \omega < \pi$$

$$E[du(0)^2] = dF(0), \quad E[du(\pi)^2] = dF(\pi)$$

$$E[du(\omega_1)dv(\omega_2)] = 0, \quad 0 \leq \omega_1, \quad \omega_2 \leq \pi$$

¹⁹³ GRANGER, Clive W. J.; WATSON, Mark W., "Time Series and Spectral Methods in Econometrics - Handbok of Econometrics", Cilt II, Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam, 1984, ss.989-990.

ve böylece gerçek bir süreçle Eşitlik 2.148 ve Eşitlik 2.149'lar aşağıdaki şekle gelir;

$$\mu_\tau = \int_0^\pi \cos \tau \varpi dG(\varpi) \quad (2.150)$$

burada,

$$\begin{aligned} dG(\varpi) &= 2dF(\varpi), \quad 0 < \varpi < \pi \\ dG(0) &= dF(0), \quad dG(\pi) = dF(\pi) \end{aligned}$$

ve

$$X_t = \int_0^\pi \cos t\varpi du(\varpi) + \int_0^\pi \sin t\varpi dv(\varpi) \quad (2.151)$$

Spektral analizin önemli bir uygulaması Eşitlik 2.147 ve Eşitlik 2.149 ile verilen süreçlerin varyanslarının biçimleri karşılaştırılarak yapılabilir, yani;

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= \sum_{j=1}^{\infty} |a_j|^2 \\ \mu_0 = \sigma_x^2 &= \int_{-\pi}^{\pi} dF(\varpi) \end{aligned}$$

Birinci durumda $|a_j|^2$, ω_j frekanslı bileşenin tüm varyansa olan katkısını; ikinci durumda ise Cramér'in gösteriminde olduğu gibi, sıradaki tüm noktalar dâhil edildiğinde $(\omega, \omega+d\omega)$ frekans seti tarafından tüm varyansa yapılan katkı $dF(\omega)$ 'dür. $F(\omega)$ monoton olarak artan klâsik ayrışması, yani azalmayan ve sırasıyla, kesinlikle sürekli bir $F_1(\omega)$ fonksiyonundan; $F_2(\omega)$ basamak fonksiyonundan ve sürekli ve her yerde sabit olan tekil fonksiyon $F_3(\omega)$ 'ten oluşan $F(\omega) = F_1(\omega) + F_2(\omega) + F_3(\omega)$ bir fonksiyonu şeklindedir¹⁹⁴. Ancak, $F_3(\omega)$ gözlemsel olarak anlamlı olmadığı için sıfır olarak kabul edilebilir, böylece herhangi bir durağan süreç $X(t) = X_1(t) + X_2(t)$ şeklinde gösterilebilir, burada $X_1(t)$ kesinlikle sürekli güç spektrum dağılımına sahiptir ve bu durumda Eşitlik 2.148 aşağıdaki şekle gelir;

¹⁹⁴ GRENANDER, Ulf; ROSENBLATT, Murray, "Statistical Spectral Analysis of Time Series Arising from Stationary Stochastic Process", The Annals of Mathematical Statistics, Cilt 24, Sayı 4, 1953, ss.537-558.

$$\mu'_\tau = E[X_1(t)\overline{X_1(t-\tau)}] = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} f(\omega) d\omega \quad (2.152)$$

$X_2(t)$ ise Eşitlik 2.147 formuna sahiptir¹⁹⁵.

Bu ayrıştırmada $X_1(t)$ ve $X_2(t)$ ilintisizlerdir, $X_2(t)$ Eşitlik 2.147'ye benzer bir doğrusal döngüsel sürece sahiptir ve deterministik bileşen olarak adlandırılırken, $X_1(t)$ otoregresif hareketli ortalama ve doğrusal regresif süreç içeren deterministik olmayan süreç sınıfındadır. Deterministik bir süreci geçmiş değerlerinden tahmin etmek mümkün iken, deterministik olmayan bir süreci geçmiş değerlerinden tahmin etmek mümkün değildir.

Bundan sonraki bölüm, deterministik olmayan süreçler, yani $f(\omega)$ 'nin kesinlikle sürekli olduğu ve sürecin güç spektrumu olarak adlandırıldığı, güç spektral yoğunluk fonksiyonunun $dF(\omega)=f(\omega)d\omega$ olduğu çalışmalar üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece, sürekli spektrum süreçleri için, Eşitlik 2.148 ve Eşitlik 2.150 aşağıdaki şekle dönüşür;

$$\mu_\tau = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} f(\omega) d\omega \quad (2.153)$$

$$\mu_\tau = \int_0^{\pi} \cos \tau\omega g(\omega) d\omega \quad (2.154)$$

gerçek bir süreç için

$$g(\omega) = 2f(\omega), \quad 0 < \omega < \pi$$

$$g(0) = f(0), \quad g(\pi) = f(\pi)$$

Gerçek bir süreç için Cramér'in gösterimini üzerinde yoğunlaşırsak;

$$X_t = \int_0^{\pi} \cos t\omega du(\omega) + \int_0^{\pi} \sin t\omega dv(\omega) \quad (2.155)$$

Burada, sonsuz uzun, trend içermeyen, ayrık zaman serileri üreten veri üretici süreçlerini dikkate almamız gerekir. Eğer sonlu uzunluktaki belirli örnek serilere

¹⁹⁵ KOOPMANS, Lambert H., "The Spectral Analysis of Time Series", Academic Press, Inc., Albuquerque, 1995, ss.29-65.

bakarsak $(x_t, t=1, \dots, n)$ bu sonlu serilerin sonlu Fourier serilerine uygun olduğunu görebiliriz;

$$x_t(n) = \sum_{j=0}^n a_j \cos \varpi_j t + \sum_{j=0}^n b_j \sin \varpi_j t$$

burada, $\varpi_j = \frac{2\pi j}{n}$, dir ve a_j ve b_j 'ler $t=1, \dots, n$ iken $x_t(n) = x_t$ 'yi elde etmek için seçilir. Eğer, $n \rightarrow \infty$ olursa Fourier serilerin tüm örnek seri için uydurulacaktır, burada özellikle $\varpi_{j+1} - \varpi_j \rightarrow 0$ 'ye dikkat edilerek, seriler entegral haline gelecek ve şu şekilde gösterilebilecektir;

$$x_t = \int_0^{\pi} a(\varpi) \cos \varpi t d\varpi + \int_0^{\pi} b(\varpi) \sin \varpi t d\varpi \quad (2.156)$$

Bu eşitlik, $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ fonksiyonlarının doğru seçilmesi durumunda, bir sonsuz dizinin $(x_t, t=1, \dots, \infty)$ sağ taraftaki matematiksel fonksiyona uydurulacağını anlatmaktadır. ($t=1$ durumu için bir istisna olabilir). Eğer $\{x_t\}$, m periyoduna sahip bileşenler içeriyorsa (frekans $\varpi_1 = \frac{2\pi}{m}$ ise), $a(\omega)$ ve $b(\omega)$, $\omega = \varpi_1$ frekansında keskin sivri uçlara sahip olacak; ancak $\{x_t\}$ periyodik bileşenlere sahip değilse $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ düz olacaktır¹⁹⁶.

Şimdi eğer, belirli bir süreç tarafından üretilen bütün örnek seriler göz önüne alınırsa (bir anlamda, bu tür serilerin toplamı süreci tanımlayacaktır) ve elde edilen tüm $a(\omega)$ 'ler göz önüne alınırsa, bu fonksiyonlar, işlevlerin sonsuz yığını oluşturacaktır. Bu kütle, rastgele fonksiyon $\underline{a(\omega)}$ 'nün kütlesi olarak tanımlanabilir ve benzer olarak da $\underline{b(\omega)}$ 'yi türetebiliriz. Böylece, $\underline{a(\omega)}$ ve $\underline{b(\omega)}$ değişik değerler aldığı anda, veri üreten süreçten farklı örnekler elde ederiz ve bu süreç aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir;

$$X_t = \int_0^{\pi} \underline{a(\varpi)} \cos t\varpi d\varpi + \int_0^{\pi} \underline{b(\varpi)} \sin t\varpi d\varpi \quad (2.157)$$

Bu, Eşitlik 2.151'deki Cramér'in eşitliğine benzerdir. Buradaki sezgisel anlatım oldukça genel, özensiz ve hatta hatalı olabilir fakat ilgili kavramların anlaşılmasına yardımcı

¹⁹⁶ NERLOVE, Marc; GREYER, David M.; CARVALHO, José L., "Analysis of Economic Time Series. A Synthesis", gözden geçirilmiş baskı, Academic Press, San Diego, 1995, ss.37-68.

olacaktır. Daha derin matematiksel anlatımlar göz ardı edilmiştir. Doğru türevler Edward J. Hannan'ın "Time Series Analysis" ve Ulf Granered ve Murray Rosenblatt'ın "Statistical Analysis of Stationary Time Series" eserlerinde bulunabilir.

Bu açıklamaya göre, bu örnek serilerin belirli $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ fonksiyonları önceden bilirse, gelecek değerleri de öngörülebilir. Bununla birlikte, bu fonksiyonlar tam ve sonlu seri bilininceye kadar öngörülemez. Bu, şöyle bir çıkarımla örneklenebilir.

Bir insanın günlük hayatındaki genel davranışları, dünya üzerindeki pozisyonu enlem, boylam ve yükseklik olarak ölçülerek bir matematiksel model çıkarılırsa ve bu zamana göre bir fonksiyon haline getirilirse, kişinin bütün hayat çizgisini, doğumdan ölüme kadar olan üç Fourier serisi ile gösterilebilir. Bununla birlikte kişinin gelecekteki davranışları belli rastgele olaylar tarafından belirleneceği için, bütün Fourier serilerinin özellikleri kişinin hayatının herhangi bir evresinde belirlenemez. Rastgele olaylar kişinin gelecek davranışlarını belirlese bile, belli başlı davranış kuralları ve koşullar genellikle değişmez. Ev ile iş arasındaki gidiş gelişi, yemek saatleri ve yerleri, hafta sonları davranışları ve yıllık tatilleri vb. gibi. Kişinin bu davranışlarından örnek alınır, periyodik davranışlarının da bir modeli çıkarılabilir ve bu davranışların aynı özelliklerle devam ettiği kabul edilerek de, kişinin gelecekteki hareketleri belirlenebilir. Bu özellik, zaman serilerini incelerken "durağanlık" olarak kabul edilen özelliktir. Kişinin bu davranışları tek bir periyodik fonksiyon olacağı gibi, birden fazla periyodik fonksiyonun toplamı da olabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kişinin gelecekte bu kuralların dışında bir davranış yapması (farklı bir eve taşınması, iş değiştirmesi, evlenmesi veya boşanması, emekli olması durumunda bu düzenli hareketler bozulacaktır), bu fonksiyonlar ile tahmin edilemeyebilir. Bu arada, düzenli olan davranışları ölçmek için kullanılacak ölçü ise, kişinin hayat çizgisinin ortalaması ve bu ortalamadan yapılan salınımlardır. Kişinin hayat çizgisinin ortalamasının ev ile iş arasında bir yerde olduğu varsayılırsa, bu ortalamadan yapılan sapmaların büyüklüğü ölçülerek belli bir model oluşturulabilir. Modelde, her bir periyodik davranışın (her bir bileşenin) oluşturduğu salınının (varyans) büyüklüğünün toplam varyansa katkısı ölçülür. Böyle bir modelde, bir periyodik fonksiyon seriden çıkarıldığında, varyansın azalma miktarı bu terimin önemini göstermektedir.

Bu tür bir model, eğer $x_t = a \cos \omega_1 t + \varepsilon_t$ ise, burada ε_t rastgele bağımsız seriyi göstermektedir. Bu durumda varyans $\sigma_x^2 = \frac{1}{2} a^2 + \sigma_\varepsilon^2$ olur. ω_1 frekanslı periyodik

bileşeni çıkardığımızda ise $\sigma_x^2 = \sigma_\varepsilon^2$ olur. Ancak, böyle bir terimi içermeyen serideki varyans bu şekilde azaltılmaz.

Cramér'in gösterimine göre herhangi bir durağan süreç $(-\pi, \pi)$ aralığındaki bütün frekansların integrali olarak değerlendirilebilir. Eğer fonksiyonu $F(\omega_2) - F(\omega_1)$ şeklinde $F(\omega)$ 'nin bir fonksiyonu şekli den göstermemiz gerekirse, $\omega_2 - \omega_1$ frekans bandına yüklenecek toplam varyans miktarı aşağıdaki eşitlik ile verilebilir;

$$= \int_{\omega_1}^{\omega_2} [a^2(\omega) + b^2(\omega)] d\omega$$

$F(\omega)$ fonksiyonu güç spektral dağılım fonksiyonu olarak adlandırılır ve bu Eşitlik 2.149 ile aynı anlamdadır. Eğer süreç periyodik terimler içermiyorsa $a^2(\omega) + b^2(\omega)$ kesinlikle süreklidir ve güç spektral fonksiyonu;

$$F(\omega) = \frac{dF(\omega)}{d\omega}$$

şeklinde verilebilir ve $f(\omega)d\omega$, $\omega, \omega + d\omega$ frekans bandının toplam varyansa olan katkısıdır. Bu nedenle, $f(\omega)$ 'deki bir zirve önemli frekans bandını işaret etmektedir.

Ele alınan süreçten sonlu uzunluktaki bir örnek verinin periyodik terimler içermediğini, yani güç spektrum dağılım fonksiyonunun sürekli olduğunu varsayalım. Eğer güç spektrum fonksiyonu $f(\omega)$ biliniyorsa, süreç tanımlanabilir.. Buradaki önemli nokta, bilinen $f(\omega)$ 'nin süreci açıkça belirleyemeyeceği, zira farklı birçok sürecin aynı spektruma sahip olabileceklerinin akılda bulundurulmasıdır. Eğer sonsuz örnek seri verilseydi, tüm ω 'ler için $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ 'yi bulmak denenebilir ve $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ 'nin sürecin (ham) Cramér gösterimindeki sırasıyla rastgele değişkenler $\underline{a(\omega)}$ ve $\underline{b(\omega)}$ 'nin örneği olduğu söylenebilir. Bu durumda $a^2(\omega) + b^2(\omega)$ fonksiyonu, $E [a^2(\omega) + b^2(\omega)]$ 'nin ham tahminidir. Tüm t 'ler için $E[x_t] = 0$ kabul ettiğimizden $E [\underline{a(\omega)}] = 0$ ve $E [\underline{b(\omega)}] = 0$ olacaktır. Buradan, haklı olarak, alınan örneklerle yığının ortalamasını tahmin etmenin pek doğru bir yöntem olmadığı, fakat $f(\omega)$ 'nin kesinlikle sürekli ve bu nedenle de düzgün olduğundan küçük bir frekans bandı boyunca $a^2(\omega) + b^2(\omega)$ 'nin ortalaması bu banttaki $f(\omega)$ 'nin ortalamasının kabul edilebilir tahminini vereceği söylenebilir. Pratikte, elde sadece sonlu sayıda örnek seri bulunduğundan, serilerin uzunluğu ile tahmin tekniklerinin verimliliği, ortalama güç spektrumunun hangi frekans bandında ve ne kadar iyi tahmin edilebileceğini belirleyecektir.

Veri üreten süreç önemli periyodik süreçler içeriyorsa, bu terimlerin hangi frekanslarda, hangi genlik ve fazlarda oluştuğunu da belirlemek gerekir. Schuster periyodogramı bunu doğal ancak başarısız bir şekilde denemiştir. Önemli frekanslar spektrum tahmininde yüksek, sivri zirvelere karşılık gelirken, zirvelerin yüksekliği ise genliğin kaba bir tahminini verecektir¹⁹⁷.

2.2.2.3. Kara Kutular ve Rasyonel Spektral Fonksiyonların İşlenmesi

Kara kutu terimi, haberleşme teorisi ile uğraşan elektrik ve elektronikçiler tarafından yıllarca kullanılmıştır ve sürekli zaman serilerinin doğrusal dönüşümü (*linear transformation*) için kullanılan bir terimdir. Kara Kutu, girişi $\{u_t, t = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty\}$ ve çıkışı $\{v_t, t = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty\}$ olan ve bu ikisini belli koşullarla birbirine bağlayan bir kutu olarak değerlendirilir. Çıkış fonksiyonu, girişin şimdiki ve geçmiş değerlerini işleyen doğrusal bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun genliği ve fazı değiştirdiği ancak, frekansı değiştirmedeği kabul edilir. Bu tür fonksiyonlar şu şekilde tanımlanabilir;

$$v_t = \sum_0^{\infty} \alpha_j u_{t-j} \quad \text{ve eğer} \quad u_t = ae^{i(t\theta+b)} \quad \text{ise} \quad v_t = ce^{i(t\theta+d)} \quad (2.158)$$

Bağımsız rastgele dizinin güç spektrumu $(-\pi, \pi)$ aralığında $\mu_\tau = 0, \tau \neq 0, \mu_0 = \sigma^2$ olarak sabit olacaktır ve dizi;

$$\mu_\tau = \frac{\sigma^2}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} d\omega$$

olarak verileceğinden, $f(\omega) = \frac{\sigma^2}{2\pi}, -\pi, \leq \omega \leq \pi$ olacaktır.

Dolayısı ile de, eğer ε_t bir rastgele değer ise, $E[\varepsilon_t] = 0$ olan bağımsız serisinin Cramér gösterimi;

$$\varepsilon_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} dz(\omega) \quad (2.159)$$

olacaktır, burada

¹⁹⁷ GRANGER, Clive W. J.; HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss. 27-35.

$$E[dz(\varpi_1)\overline{dz(\varpi_2)}] = \begin{cases} 0, & \varpi_1 \neq \varpi_2 \\ \frac{1}{2\pi}\sigma_\varepsilon^2 d\varpi, & \varpi_1 = \varpi_2 \end{cases}$$

Bu tür seriler, elektronik mühendisliği terimi olan “beyaz gürültü” adıyla adlandırılırlar.

Bu durumda hareketli ortalamalar (*moving averages – MA*) süreci ele alınırsa;

$$X_t = \sum_{j=0}^m \alpha_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.160)$$

buradan,

$$X_t = \int_{-\pi}^{\pi} \sum_{j=0}^m \alpha_j e^{i(t-j)\varpi} dz(\varpi) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varpi} \left[\sum_{j=0}^m \alpha_j e^{-ij\varpi} \right] dz(\varpi)$$

ve buradan;

$$E[X_t \overline{X_{t-1}}] = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\varpi} a(\varpi) \overline{a(\varpi)} d\varpi$$

olur, böylece de $\{X_t\}$ sürecinin güç spektrumu;

$$2\pi f(\varpi) = \sigma_\varepsilon^2 a(\varpi) \overline{a(\varpi)}, \quad \text{burada } a(\varpi) = \sum_{j=0}^m \alpha_j e^{ij\varpi} \quad (2.161)$$

Benzer şekilde otoregresif sürecin (*autoregressive process – AR*) güç spektrumu da bulunabilir. Sürecin aşağıdaki şekilde verildiğini kabul edilirse;

$$X_t + \sum_{j=1}^m \beta_j X_{t-j} = \varepsilon_t \quad (2.162)$$

ve

$$X_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varpi} d\eta(\varpi), \quad \text{burada } E[|d\eta(\varpi)|^2] = f(\varpi) d\varpi$$

olarak kabul edilirse, $\{X_t\}$ sürecinin güç spektrumu $f(\varpi)$ şu şekilde belirlenir;

$$\int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} \left[1 + \sum_{j=1}^m \beta_j e^{-ij\omega} \right] d\eta(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} dz(\omega)$$

buradan, $E[\varepsilon_t \overline{\varepsilon_{t-\tau}}]$ değerlendirilise,

$$\int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} b(\omega) \overline{b(\omega)} f(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \sigma_{\varepsilon}^2 \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} d\omega$$

ve;

$$2\pi f(\omega) = \frac{\sigma_{\varepsilon}^2}{b(\omega) \overline{b(\omega)}}, \quad b(\omega) = 1 + \sum_{j=1}^m \beta_j e^{-ij\omega} \quad (2.163)$$

Eşitlik 2.160 ve Eşitlik 2.162 ile verilen süreçleri birleştirerek daha genel bir doğrusal regresif süreç elde edilir;

$$\sum_{j=0}^b \beta_j X_{t-j} = \sum_{j=0}^a \alpha_j \varepsilon_{t-j}, \quad \beta_0 = 1 \quad (2.164)$$

bu sürecin güç spektrumu da;

$$2\pi f(\omega) = \frac{a(\omega) \overline{a(\omega)}}{b(\omega) \overline{b(\omega)}} \sigma_{\varepsilon}^2 \quad (2.165)$$

olarak verilir ve burada $a(\omega)$ ve $b(\omega)$ 2.161 ve 2.163 eşitliklerinde tanımlanmıştır. Eşitlik 2.165'deki süreç rasyonel spektrum olarak adlandırılır.

Genel olarak, $f(\omega)$ güç spektrumlu gerçek durağan sürecin, $(-\pi, \pi)$ aralığı dışında periyodik ve simetrik olduğunu, yani $f(\omega) = f(-\omega)$. Açıkça, eğer $f(\omega)$ sürekli ise aşağıdaki formda yazılabilir;

$$f(\omega) = \sum_{j=0}^{\infty} \gamma_j \cos j\omega$$

ve şu şekilde gösterilebilir;

$$f(\omega) = g(\omega) \overline{g(\omega)}, \quad \text{burada} \quad g(\omega) = \sum_{j=0}^{\infty} g_j e^{-ij\omega}$$

Böylece, reel, deterministik olmayan, durağan ve sürekli spektruma sahip süreç şu şekilde, yani sonsuz hareketli ortalama olarak gösterilebilir;

$$X_t = \sum_{j=0}^{\infty} g_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.166)$$

Aynı zamanda, rasyonel spektruma sahip olarak, böyle bir sürece mümkün olduğunca yaklaşılabilir. Burada “yaklaşma” yakın spektruma sahip iki süreç anlamında kullanılmıştır.

Eğer girişi, durağan, rastgele ve bağımsız ε_t serileri olan bir kara kutunun çıkışı;

$$v_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} a(\omega) dz(\omega)$$

eğer

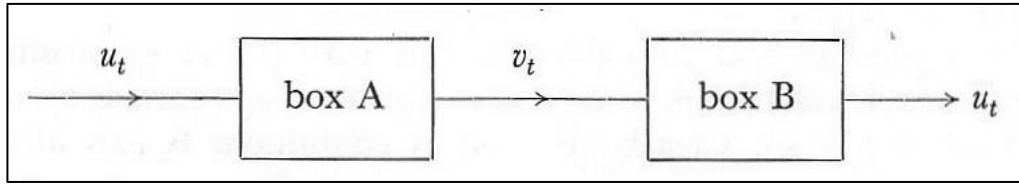
$$\varepsilon_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} dz(\omega)$$

burada

$$a(\omega) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j e^{-ij\omega}$$

ise, çıkışın güç spektrumu $f_v(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sigma_{\varepsilon}^2 a(\omega) \overline{a(\omega)}$ olacak ve bağımsız örneklerin girdi olarak kullanıldığı bir kara kutuyla, verilen spektrumdaki durağan süreçten yeniden oluşturulabilecektir.

$a(\omega)$ fonksiyonu, kara kutunun spektral dönüşüm fonksiyonu olarak adlandırılacak, yukarıdaki tanıma göre girişin güç spektrumu $f(\omega)$ ise, çıkışın spektrumu $a(\omega) \overline{a(\omega)} f(\omega)$ olacaktır. Burada, her kara kutunun tersinin olmayacağı belirtilmelidir. Diğer bir deyişle, A kutusu bazı frekansları tamamıyla çıkarabilir ve bu frekanslar B kutusu tarafından tekrar oluşturulamaz. Bununla birlikte, eğer herhangi bir ω değeri için $a(\omega) \neq 0$ ise, ters kara kutu muhtemelen $[a(\omega)]^{-1}$ şeklinde bir spektral transfer fonksiyonuna sahip olacaktır.



Şekil 2.37: Kara Kutu ve Transfer Fonksiyonu Gösterimi

Sıklıkla ilgilenilen özel stokastik süreç “normal süreç” olarak adlandırılır. $\{X_t\}$ sürecinin alt kümesindeki $X_{\lambda 1}, X_{\lambda 2}, X_{\lambda 3} \dots X_{\lambda k}$ ’lar çok değişkenli dağılıma (*multivariate distribution*) sahipse, $\{X_t\}$ ’nin normal süreç olduğu söylenir. Eğer bağımsız seri ε_t normal değişkenler dizisi ise, Eşitlik 2.183 ile tanımlanan doğrusal regresif süreç, normal süreç olacaktır. Ayrıca, kara kutu tarafından dönüştürülecek bir normal süreçten çıkan süreç de normal süreç olacaktır.

Tahmin ile ilgili önemli sorunlar Grenander ve Rosenblatt, Hannan, Bartlett ve Wiener’gibi gibi araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Verilen x_1, x_2, \dots, x_n verisinden, gelecekteki değer x_{n+k} ’yi açıkça mantıklı olarak tahmin etmenin yöntemi, mevcut verinin doğrusal toplamını aşağıdaki şekilde vermektedir;

$$P[x_{n+k}] = \sum_{j=0}^m \alpha_j x_{n-j}$$

burada $\alpha_j, \sigma_p^2(k) = E[|x_{n+k} - P[x_{n+k}]|^2]$ ’yi en aza indirmek için seçilir. Burada tüm t ’ler için $E[x_t] = 0$ varsayılmıştır.

Wiener, x_t serilerinin güç spektrumu $f_x(\omega)$ bilindiğinde ve seriler sonsuz uzunlukta olduğunda α_k seçimi problemini değerlendirmiştir. Bu durumda Kolmogoroff ise $\sigma_p^2(1) = \exp \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log 2\pi f_x(\lambda) d\lambda \right\}$ olduğunu göstermiştir¹⁹⁸.

Pratikte α_j ’nin tahmininde daha kullanışlı olan yöntem, serilere bir otoregresif model uydurarak oluşturulan modeli kullanmaktır. Aslında, kötü tahmin yapmaktan daha önce, serilerin ortalamasına trendin bulunması veya periyodik bir terimin olması durumunda, bu bileşenlerin dikkate alınması gerekliliğidir.

¹⁹⁸ GRANGER, Clive W. J.; HATANAKA, Michio, “Spectral Analysis of Economic Time Series”, Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.36-39.

2.2.2.4. Filtreler

Spektral analizdeki gelişmeler, verilerin daha iyi analiz edilmesi için yeni ve daha sağlıklı yöntemlerin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yöntemlerden biri de filtrelerdir. İstatistik filtreleri, örneğin Hodrick-Prescott filtresi yapay döngüler yaratabilir¹⁹⁹. Zaman serileri analizinde, güç spektrumunun şeklini değiştirmek için kullanılan filtrelerin olası mümkün durumları aşağıda sıralanan amaçlar için olabilir:

- i. Sadece belli bir frekans bandını incelemek için (ω_1, ω_2) .
- ii. Varyansa önemli bir katkıda bulunan belli bir frekansı ω_0 tamamıyla uzaklaştırarak diğer frekansları incelemek için (örneğin meteorolojik zaman serilerindeki yıllık bileşen).
- iii. Seriyi düzleyerek (yüksek frekanslı bileşenleri ayırarak) serideki uzun süreli bileşenleri daha iyi incelemek için.

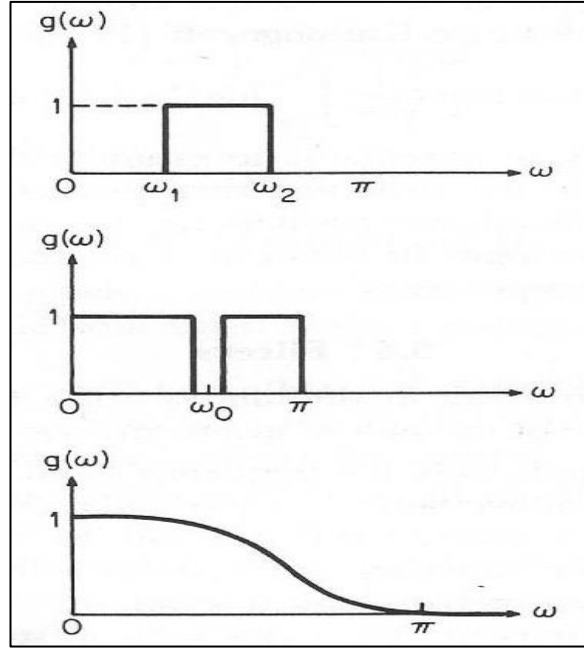
Bu gereksinimler Şekil 2.38’de görüleceği gibi serinin güç spektrumu, $g(\omega)$ fonksiyonu ile çarpılarak elde edilebilir. Gerçekte, ihtiyaca uygun transfer fonksiyonlu kara kutu nadiren bulunabilir ancak, genellikle iyi bir tahmin yapılabilir. $\{x_t\}$ serilerinin doğrusal dönüşümü olarak bir filtre, şu şekilde tanımlanabilir;

$$y_t \equiv L(x_t) = \sum_{j=a}^m \alpha_j x_{t+j} \quad (2.167)$$

Hesaplama ve matematiksel kolaylık için $a = -m$ alınır. Eşitlik 2.167’de görüldüğü gibi filtre, kara kutuya benzer ve aslında zaman gecikmeli bir kara kutu olarak düşünülebilir. Eşitlik 2.167’deki filtreyi bir sürece uygulamanın etkisi, güç spektrumunu $g(\omega) = a(\omega)\overline{a(\omega)}$ ile çarpmaktır. Burada;

$$a(\omega) = \sum_{j=-m}^m \alpha_j e^{ij\omega}$$

¹⁹⁹ HARVEY, Andrew C.; JAEGER, Albert, “Detrending, Stylized Facts and the Business Cycle”, Journal of Applied Econometrics, Cilt 8, 1993, ss.231-247.

Şekil 2.38: Çeşitli Filtre Fonksiyonları $g(\omega)$

Doğru filtre seçimi doğru α_j katsayısının seçimi ile olur. x_t 'nin gerçek ve tek bir frekanstan oluştuğunu varsayalım, fonksiyonunu;

$$x_t = A \cos(\omega t + \theta)$$

şeklinde yazıldığında;

$$\begin{aligned} y_t &= A \sum_{j=-m}^m \alpha_j \cos(\omega(t+j) + \theta) \\ &= A \cos(\omega t + \theta) \sum_{j=-m}^m \alpha_j \cos j\omega - A \sin(\omega t + \theta) \sum_{j=-m}^m \alpha_j \sin j\omega \end{aligned}$$

olur, burada $\{y_t\}$ serisi de tek bir ω frekansından oluşacak fakat genlik;

$$S^2(\omega) = \left(\sum_{j=-m}^m \alpha_j \cos j\omega \right)^2 + \left(\sum_{j=-m}^m \alpha_j \sin j\omega \right)^2$$

ile çarpılacak ve faz aşağıdaki kadar değişecektir;

$$\varphi(\omega) = -\tan^{-1} \frac{\sum \alpha_j \sin j\omega}{\sum \alpha_j \cos j\omega}$$

Filtrelerde faz değişimini kullanmak çok rahat olmayacağı için $\varphi(\omega) = 0$ olarak kabul edilir. Bu $\alpha_j = \alpha_{-j}$ alınarak elde edilir ve bu filtre simetrik veya kosinüs filtresi olarak adlandırılır. Bazı durumlarda ise, $\alpha_j = -\alpha_{-j}$ alınarak asimetrik veya sinüs filtresi kullanılmaktadır.

Kosinüs filtresi için, faz her frekans için değişmemiştir ve güç spektrumu;

$$S^2(\omega) = \left(\alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_j \cos j\omega \right)^2$$

ile çarpılır ve $S^2(\omega)$ filtre etkeni (*filter factor*), $S(\omega)$ de dönüşüm fonksiyonu (*transfer function*) olarak adlandırılır.

Pek çok istatistik çalışması, filtrelerin ve hareketli ortalamaların veriye döngü ekleyeceğini varsayarlar ve bu çalışmalarda dikkat olunması gerektiğini belirtirler. Böyle bir uyarı Slutsky'nin çalışmalarının sonucunda ortaya çıkmıştır. Çalışmada, eğer tamamıyla rastgele birincil serinin iki ardışık teriminin m defa yinelenen toplamlarından oluşan, n adet ilk farklarıyla takip edilen, m/n oranı sabit olan ikincil ve birbiriyle ilişki serinin $n \rightarrow \infty$ yaklaştıkça sinüs eğrisi olacağı belirtilmiştir. Eğer $\{x_t\}$ serisi $f(\omega)$ güç spektrumuna sahipse, bu durumda $y_t = x_t + x_{t+1}$ formundaki $\{y_t\}$ serisinin güç spektrumu $A(\omega)f(\omega)$ dir, burada;

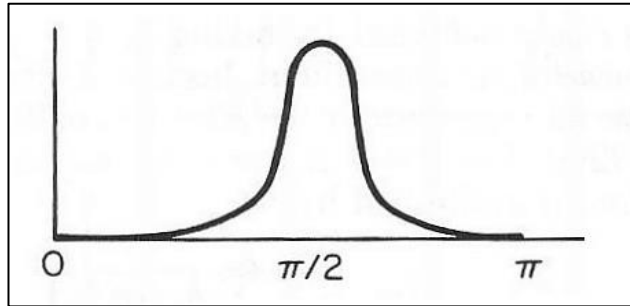
$$A(\omega) = (1 + e^{-i\omega})(1 + e^{i\omega}) = 2(1 + \cos\omega)$$

ve $z_t = x_t - x_{t-1}$ formundaki $\{z_t\}$ serisinin güç spektrumu $B(\omega)f(\omega)$ dir, burada;

$$B(\omega) = (1 - e^{-i\omega})(1 - e^{i\omega}) = 2(1 - \cos\omega)$$

Böylece, n adet ilk farklarıyla takip eden ikisinin m toplamlarının etkisi, spektrumu $A^m(\omega)B^n(\omega)$ ile çarpmaktır. $m=n$ özel durumunu ele alırsak, spektrumu aşağıdaki fonksiyon ile çarpmak yeterlidir;

$$2^n(1 - \cos\omega)^n 2^n(1 + \cos\omega)^n = 4^n(\sin\omega)^{2n}$$



Şekil 2.39: “ $n=m$ ” Durumunda Filtre Fonksiyonu Uygulanmış Spektrum

bu fonksiyonun grafiği Şekil 2.39’daki gibidir ve n arttıkça, tepe noktası yükselir ve daralır. Böylece, tek frekans ve döngüsel sonuçları, bu süreç ile önemli derecede vurgulanmıştır. Eğer $m/n=\alpha \neq 1$ ise, $n \rightarrow \infty$ yaklaştıkça sonuç benzer olmakla beraber, λ frekansı $\cos\lambda = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$ olacaktır.

Bir anlamda, sözü edilen istatistik çalışmalarının uyarıları, hareketli ortalamaların belli frekans bandı üzerinde yoğunlaşacağı ve kalıcı dalgalanmalar oluşacağı için doğrudur. Fakat hareketli ortalamaların spektrum üzerindeki etkileri saptanabileceği için bu tür olaylar sadece gerekli duyulduğunda ortaya çıkar. Bu nedenle, spektral yaklaşımın kullanılmasının bir etkisi, filtre tekniklerinin daha iyi anlaşılması ve kontrol edilebilmesidir. Frekans filtreleri aynı zamanda, ileriki bölümde anlatılacak olan çapraz spektral analizin hedefe daha iyi yönelmiş ve daha uygun ve etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır²⁰⁰.

Jenkins ve Watts (1969) ise, filtreler olgusuna konvolüsyon teoremini geliştirerek filtreler için aşağıdaki eşitlikleri bulmuşlardır;

$$\begin{aligned} v(j) = h(j) \circledast u(j) &\equiv \sum_{n=0}^{N-1} h(n)u(j-n)_{\text{mod } N} \\ &= \sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{(N-1)}{2}} H(k)U(k)e^{-\frac{i2\pi jk}{N}} \end{aligned} \quad (2.168)$$

²⁰⁰ IACOBUCCI, Alessandra, “Spectral Analysis for Economic Time Series”, No 2003-07, Documents de Travail de l’OFCE, Observatoire Francais des Conjonctures Economiques (OFCE), Kasım 2003.

Burada doğrusal evrişim (*linear convolution*), dairesel evrişimle (*circular convolution*) (\otimes) yer değiştirmiştir. Böylece, filtreleme, $U(k)$ fonksiyonunu, filtre frekans yanıtı $H(k)$ ile çarparak veya eşdeğer olarak, $H(k)$ 'dan Ters Ayırık Fourier Dönüşümü ile edilen $h(j)$ filtre zaman yanıtını, evrişim içindeki (*convolving*) $u(j)$ sinyali ile çarparak da elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Ancak, filtrelerin kullanımda yan etkilerine ve analizde oluşturacakları problemlere de dikkat etmek gerekir. Seçilecek filtre, incelenecek veriye ve amaca uygun olmalı, oluşturacakları hatalar, analizi etkilememelidir. Örneğin, Hodrick-Prescott filtresi uç nokta hatası (*end-point bias*) verebilir. Daha yeni çalışmalarda tavsiye edilen band-geçirgen filtre ise, zaman serilerinin başlangıç ve bitişindeki verilerin gözlem kaybına neden olmaktadır. Buna karşın, birinci farklar bütün örnek için aynı kalitede mevcut olmakla beraber tüm frekansları içine almaktadır.

Özellikle elektronik alanında, sayısal (*digital*) teknolojideki gelişmeler, verilerin örneklenmesini, sayısal hale çevrilmesini ve sayısal verilerin, sayısal sistemler ile incelenmesi sağlamıştır. Bu yöntemler, filtrelerin de sayısal filtreler olarak tasarlanmasına neden olmuştur. Parametrelere bağlı olarak, bilgisayar programları yardımıyla tasarlanacak sayısal filtreler, ekonomik verilerin çok daha iyi bir şekilde analiz edilerek, barındırdıkları faydalı ve anlamlı bilgilerin ortaya çıkarılmasını sağlarlar. Örneğin, mevsimsel bileşenleri izole edilmesini veya uzaklaştırılmasını sağlayarak spektrumun zayıf özelliklerini tespit edebilirler. Uygulamalarda, sayısal filtreler genellikle evrişim şeklinde kullanılmaktadır²⁰¹.

Filtrelerin bir türü olan pencereler (*windows*) ise, spektral analiz uygulamalarındaki önemlerinden ve çapraz spektral analizde de kullanılmalarından dolayı, bu çalışmada ileride ayrı bir bölüm olarak incelenmişlerdir.

2.2.2.5. Güç Spektrumunun Tahmini

Eşitlik 2.154'deki reel ve durağan süreçten kaynaklanan

$$\mu_{\tau} = 2 \int_0^{\pi} \cos \tau \omega f(\omega) d\omega$$

biçimsel tersinme (*formal inversion*) eşitliği şu şekilde verilir;

²⁰¹ KOOPMANS, Lambert H., "The Spectral Analysis of Time Series", Academic Press, Inc., Albuquerque, 1995, ss.165-166.

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left(\mu_0 + 2 \sum_{j=1}^{\infty} \mu_j \cos j\omega \right) \quad (2.169)$$

ve, $\{x_t, t = 1, \dots, n\}$ sonlu verisi için mantıklı bir tahmin şu şekilde yapılabilir;

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left(C_0 + 2 \sum_{j=1}^{n-1} C_j \cos j\omega \right) \quad (2.170)$$

burada;

$$C_\tau = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=1}^{n-\tau} (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x}) \quad (2.171)$$

Eşitlik 2.170'de verilen tahmin Schuster'in periyodogramıyla oldukça benzerdir:

$$I_n(\omega) = \frac{1}{n} \left[\left(\sum x_t \sin \omega t \right)^2 + \left(\sum x_t \cos \omega t \right)^2 \right]$$

Hannan da çalışmalarında $E[I_n(\omega)] = 2\pi f(\omega)$, ancak

$$\text{var}[I_n(\omega)] \cong [2f(\omega)]^2 + 0(n^{-1})$$

ve bu nedenle, $I_n(\omega)$, $f(\omega)$ 'nin tutarlı bir tahminini vermez, yani;

$$n \rightarrow \infty \text{ iken } \text{var}[I_n(\omega)] \rightarrow 0$$

Ayrıca,

$$\text{cov}\{I_n(\omega_1)I_n(\omega_2)\} = 0(n^{-1}), \quad \omega_1 \neq \omega_2$$

ve periyodogram hiçbir şekilde düzgün olmayan bir grafik verir. Güç spektrumunun tahmini olarak periyodogramdaki başarısızlık aşağıdaki eşitliğin tahminlerinin dikkate alınmasına neden olmuştur²⁰².

²⁰² HANNAN, Edward J., "Time Series Analysis", Methuen, Londra, 1960, ss.52-53.

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left\{ C_0 \lambda_0(\omega) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j(\omega) C_j \cos j\omega \right\}$$

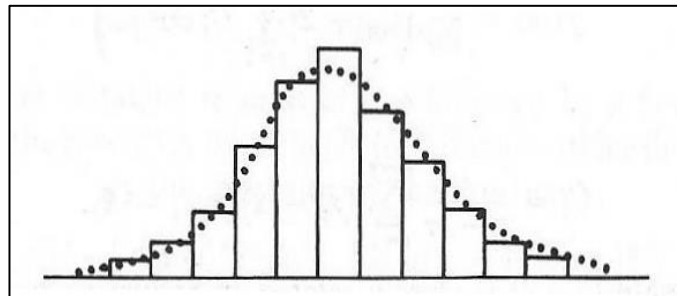
Ağırlık faktörü $\lambda_j(\omega)$ 'nin nasıl belirleneceği konusunda oldukça fazla tartışma yapılmıştır, ancak konu bu çalışmanın dışındadır. Bu konuda daha detaylı bilgi için Hannan'ın kitabına bakılabilir.

Bu çalışmada kullanılacak olan tahmin yöntemi Tukey-Hannin tahminidir, bu aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left[C_0 + 2 \sum_{j=1}^m C_j \left[1 + \cos \frac{\pi j}{m} \right] \right] \cos j\omega \quad (2.172)$$

Burada m , kullanıcı tarafından seçilebilecek keyfi bir tamsayıdır ve $m < n/3$ olması tavsiye edilir.

İstatistikte, bir yığından n boyutlu bir örnek kütle rastgele çekildiğinde, tüm yığının frekans özelliğini, bu örnekten tahmin etmek mümkün değildir. Aslında burada söylenmek istenen, verilen sonlu sayıdaki bilgi ile sonsuz (sayılamaz) boyuttaki noktaların tahmininin yapılmasının mümkün olmadığıdır. Bu durumda genel uygulama, histogram aracılığı ile yaklaşık bir frekans fonksiyonu elde etmektir. Şekil. 2.40'da görüldüğü gibi ne kadar çok nokta tahmin edilmek istenirse, varyans o kadar büyük olur ve her noktanın tahmini de o kadar kötüleşir. Aynı süreç ve sorun, spektrumun tahmininde de vardır; zira güç spektrumunun ortalama değeri, verilen sonlu sayıdaki frekans bandı kümesinden tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Zorunluluk olmasa da, eşit büyüklükteki frekans bantlarını kullanmak olağan bir uygulamadır. Böylece, tahmin $\omega_k = \frac{\pi k}{m}$, $k = 0, 1, \dots, m$ noktalarında hesaplanmıştır.

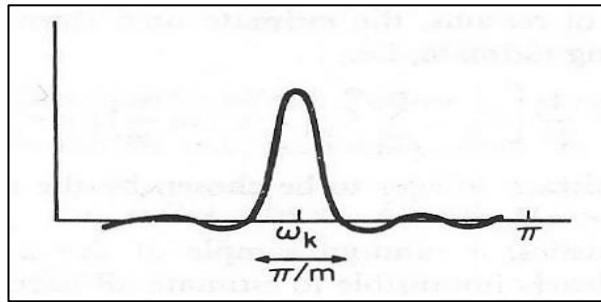


Şekil 2.40: Frekans Fonksiyonunun Histogram Yöntemiyle Tahmini

Bu tahmini elde etmenin bir yöntemi filtre faktörü ile filtreyi uygulamaktır;

$$\begin{aligned} S(\omega) &= 1 & \omega_k - \frac{\pi}{2m} \leq \omega < \omega_k + \frac{\pi}{2m} \\ S(\omega) &= 0 & \text{dışında} \end{aligned}$$

ve sonra da $k=0, 1, \dots, m$ değerleri için filtrelenmiş verinin varyansı bulunur. Bununla birlikte, keskin filtre faktörüne sahip böyle kısa bir filtreyi bulmak mümkün değildir ve Şekil 2.41'deki gibi bir dönüşüm faktörüne sahiptir (bu tür filtre pencere (*window*) olarak adlandırılır, çünkü tümün sadece görülmek istenilen kısmı görülecektir). Eğer spektrum ω_k dışındaki diğer frekanslarda yüksek tepelere sahipse, bu frekansın gücünün bir kısmı, filtre faktöründeki yan tepelerden dolayı, ω_k 'daki spektrum tahminine sızacaktır.



Şekil 2.41: Pencere Fonksiyonu

Ekonomik serilerin spektrumunda böyle önemli tepelerin olması mümkündür (örneğin trend veya yıllık bileşenden dolayı), dolayısıyla frekans bantları arasında az miktarda sızıntının olduğu spektral tahmini kullanmak önemlidir. Tukey'in tahmini (Eşitlik 2.182), pencerenin yan tepelerinin, ana tepenin %2'sini hiçbir zaman geçmemeleri, dolayısıyla da herhangi bir frekansta sızıntı bozulması olasılığının çok düşük olması önemli bir özelliktir. Tukey tahmin yönteminin diğer kullanışlı özellikleri;

- i. $\hat{f}(\omega_k)$ ve $\hat{f}(\omega_{k+2})$ etkin olarak ilintisizdir (*uncorrelated*),
- ii. Tahmini güven şeritleri mevcuttur,
- iii. Farklı bilgisayar programlarında kullanılabilir.

Grenander ve Rosenblatt, Tukey tahmininin varyansını yaklaşık olarak şu şekilde göstermişlerdir²⁰³;

$$\begin{aligned} \text{var}[\hat{f}(\varpi)] &\sim \frac{4m}{5n} f^2(\varpi), \quad \varpi \neq 0 \\ &\sim \frac{8m}{5n} f^2(0), \quad \varpi = 0 \end{aligned}$$

ve tahminin yanlılığı yaklaşık olarak aşağıdaki şekildedir;

$$0,46 \left[\frac{1}{2} f(\varpi + \pi/m) + \frac{1}{2} f(\varpi - \pi/m) - f(\varpi) \right]$$

Yanlılık (*bias*), yeterince düzgün spektral fonksiyon için açıkça çok küçüktür. Ayrıca, tahminleri %15'e kadar daha az varyanslı elde etmek mümkün olsa bile, yukarıda sıralanan avantajların, bu olası kazanca göre daha ağır bastığı görülmektedir.

Burada belirtmek gerekir ki, spektrumun tahmini iyileştirmek için Tukey ve Blackman tarafından önerilen teknik, spektrumun bir beyaz gürültü olması olasılığını dikkate almaz. Yukarıda önerilen tahminler, spektrumun düzlenmiş olduğunu varsayar; ancak, belirli bir frekans bandı özellikle önemliyse sızıntının oluşacağını belirtir. Ön beyaz gürültü dönüşümü (*pre-whitening*) olarak da adlandırılan Tukey-Blackman yaklaşımı, spektrumu tahmin etmek ve sonra da, herhangi bir frekans bandının özellikle önemli görülmesinde, bu frekans bandına filtre uygulayarak bu bandın önemini azaltmayı (frekansı çıkarmadan) hedeflemektedir. Böylece, $S^2(\varpi)$ filtre faktörlü F filtresi uygulanarak yeni veri $y_t = F(x_t)$ oluşturulur ve y_t 'nin spektrumu tahmin edilir. Bu durumda, x_t serisinin geliştirilmiş spektrum tahmini;

$$\hat{f}_x(\varpi) = \frac{\hat{f}_y(\varpi)}{S^2(\varpi)}$$

Konu ile ilgili pek çok kaynak, bu yöntemin kullanılabilirliğini tartışmaktadır ve genel kanı çok kullanışlı olmadığı yönündedir. Bu konuda detaylı bilgiler Blackman ve Tukey²⁰⁴; Tukey²⁰⁵; Grenander ve Rosenblatt²⁰⁶; Jenkins²⁰⁷'in eserlerinde bulunabilir.

²⁰³ GRENANDER, Ulf; ROSENBLATT, Murray, "Statistical Analysis of Stationary Time Series", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.

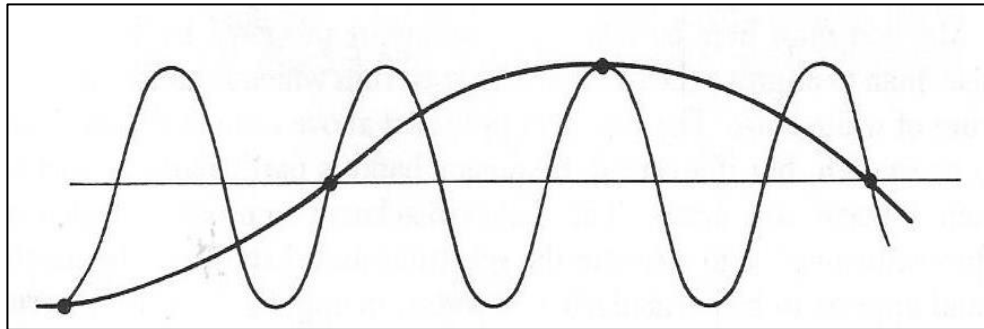
²⁰⁴ BLACKMAN, Ralph B.; TUKEY, John W., "The Measurement of Power Spectra from the Point of View of Communication Engineering", Dover Publications, New York 1958.

2.2.2.6. Nyquist Frekansı ve Dalgaların Frekanslarının Karışması (Eşdeş)

$\{x_t\}$, $X(t)$ sürekli zaman serinden eşit zaman aralıkları ile alınmış örnek seri olsun. Spektrumun yorumlanmasında bazı önemli özelliklerin belirtilmesinde fayda vardır.

“ k ” ölçümler arasındaki uzaklık olmak üzere, eğer $X(t)$, $\frac{2\pi}{k}$ frekansını içeriyorsa, $\{x_t\}$ bu frekans ile ilgili hiçbir bilgi taşımayacaktır. Örneğin, günlük sıcaklık ölçümleri her gün öğlen yapılıyorsa, bu ölçümler sıcaklığın gün içerisindeki değişimi hakkında herhangi bir bilgi vermeyecektir. Ancak, ölçümler günde iki defa, öğlen ve gece yarısı yapılırsa, sıcaklığın gün içerisindeki değişiminin önemi tahmin edilebilir. Gerçekte, hakkında bilgi sahibi olduğumuz en yüksek frekans $\frac{\pi}{k}$ frekansıdır ve bu frekans Nyquist frekans olarak adlandırılır. Bu frekansın gücü $\omega=\pi$ frekansında kayıt edilen güç spektrumudur.

Düzenli aralıklarla örneklenmiş bir hızlı kosinüs dalgası, yavaş kosinüs dalgasına benzer. Şekil 2.42 bu durumu göstermektedir.



Şekil 2.42: Örneklemeye Kaynaklanan Dalgaların Karışması (*Aliasing*)

Böylece, örnekleme sonrasında, herhangi bir frekansın açık katkısı, birbirinin eşdeşi olan birçok frekansın katkılarının üst üste eklenmesinin sonucudur. Eğer ω_0 Nyquist frekans ise, $\omega, 2\omega_0 - \omega, 2\omega_0 + \omega, 4\omega_0 - \omega, 4\omega_0 + \omega, \dots$ frekansları karıştırılmış ve birbirinin eşdeşi olan frekanslardır.

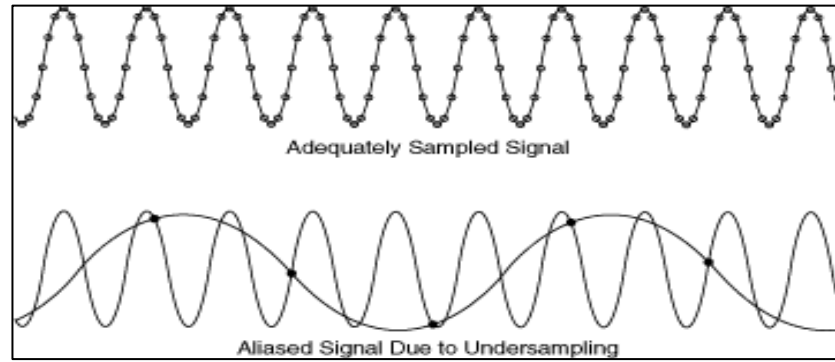
²⁰⁵ TUKEY, John W., “An Introduction to the Measurement of Spectra”, in Probability and Statistics, Stockholm, 1959, ss.300-330.

²⁰⁶ GRENANDER, Ulf; ROSENBLATT, Murray, “Statistical Analysis of Stationary Time Series”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.

²⁰⁷ JENKINS, Gwilym M., “General Considerations in the Analysis of Spectra”, Technometrics, Cilt 3, 1961, ss.133-166.

Örnekleme aralıkları seçilirken ve spektrumun tepe noktaları yorumlanırken eşdeğliğin etkileri göze önüne alınmalıdır.

İlgilenilen konuyla ilgili örneklem aralığının seçimi veya örneklemelerin oluşturulması, ekonomik olaylarda araştırmacının elinde olmamaktadır. Veriler, günlük, haftalık, aylık, üçer aylık veya yıllık olarak elde edilebilmektedir. Verilerin sürekli olarak düzgün zaman aralıklarında ölçülmesi veya belirlenmesi spektrumun yorumlanmasında bir takım güçlükler getirmektedir.



Şekil 2.43: Düzgün (üste) ve Hatalı (altta) Örnekleme - Dalgaların Karışması (*Aliasing*)

Şekil 2.43'ün alt kısmında gösterildiği gibi, uygun olmayan örnekleme sonucu, analiz edilmek istenen zaman serisini doğru olarak belirlenemez, elde edilen seri daha uzun döngüye veya periyoda sahip yanıltıcı bir seri olacaktır. Bununla beraber de; örnekleme sonucu elde edilen veriden hesaplanan spektrum veya periyodogram da bu uzun döngünün tepe noktasına denk gelecektir. Bu durum, frekansların karışması (*aliasing*) olarak adlandırılır. Bu sorunun çözümü, örneklerin, serideki en yüksek frekanslı döngüleri tespit edecek kadar fazla sıklıkta alınmasıdır. En düşük örnek sayısı her döngüde iki olmalıdır. Tabiki, eldeki verilere sadece bakarak *aliasing* problemi olup olmadığını söylemek mümkün değildir, ancak veriden yüksek frekanslı örnekler alarak çıkarılacak sonuca göre karar verilir²⁰⁸.

Sürekli değişken X_t 'nin Δ aralıkları ile örneklendiğini ve $2\pi/\Delta$ frekansında armonik bir bileşene sahip olduğu varsayıldığında, X_t serisi bu bileşen hakkında bilgi içermeyecek, bu bileşen bir sabit olarak gözükecektir. Buna örnek olarak, hava sıcaklıkları ile ilgili yapılan bir örneklemede tam öğlen vakti yapılan ısı ölçümleri

²⁰⁸ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, s.20.

günlük dalgalanmalar hakkında bilgi içermeyecektir. Dolayısıyla, tam bilgi toplanabilecek en yüksek frekans, π/Δ , “Nyquist frekans” olarak adlandırılmaktadır. Sürekli-zamanlı işaretten, ayrık-zamanlı işaret elde etmek için sürekli-zamanlı bir işaretin örneklenmesi gerekmektedir. Eğer, örnekleme frekansı ile işaretin maksimum frekansı arasında Nyquist oranı sağlanmazsa örneklenen işarete örtüşme meydana gelir ve örneklenmiş işareten orijinal işaret tekrar geri elde edilemez. f_0 işaretin en yüksek frekansı olmak üzere, Nyquist oranı $f_N=2f_0$ olmalıdır. Bu durumda örnekleme frekansı $f_s \geq f_N$ olmalıdır.

Önceki kısımda belirtildiği gibi eğer ω_0 Nyquist frekans ise, güç spektrumunda tepe $\omega=\pi$ noktasında oluşacaktır. X zaman serisi sürekli bir seri ise, otokovaryans $\lambda_\tau = E[X_t, X_{t-\tau}]$, $\lambda_{\tau\Delta} = E[X_t, X_{t-\tau\Delta}]$ şeklinde belirlenecektir. Eğer, X_t ω_0 'dan büyük bir armonik bileşene sahipse, bu bileşen ω_0 'dan küçük frekansı olan bir dalga ile karışacaktır. Bunun nedeni, sistematik olarak örneklenen yüksek bir frekansa sahip bir kosinüs dalgasından elde edilen veriler, düşük frekansa sahip bir kosinüs dalgasından elde edilen verilerle aynı bilgileri taşımasıdır.

Bu durumda, $\omega < \omega_0$ olmak üzere ω , $2\omega_0 \pm \omega$, $4\omega_0 \pm \omega$, ... frekanslarına sahip bütün dalgalar birbirlerine karışırlar ve spektral fonksiyonda $s(\omega)$ güçleri her zaman ω frekansında ortaya çıkar²⁰⁹.

2.2.2.7. Durağan Sürecin Dönüşümü

$\{X_t\}$ sürecinin bir başka $\{Y_t\}$ sürecine dönüşümü modeli $Y_t = G(X_t)$ iken, burada $G(x)$, x 'in bir fonksiyonudur ve ani dönüşüm veya genlik bozulması olarak adlandırılır. Bu tür dönüşümler, $\{X_t\}$ 'nin genellikle normal dönüşüm olduğunu varsayarak Grenander ve Rosenblatt²¹⁰ ile Grenander²¹¹ tarafından tartışılmıştır.

Ekonomideki bu tür dönüşümler genellikle logaritmik dönüşümlerdir;

$$Y_t = \log_e X_t \quad (2.173)$$

²⁰⁹ GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, “Spectral Analysis of Economic Time Series”, Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.46-47.

²¹⁰ GRENANDER, Ulf; ROSENBLATT, Murray, “Statistical Analysis of Stationary Time Series”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.

²¹¹ GRENANDER, Ulf, “Some Nonlinear Problems in Probability Theory”, Probability and Statistics-the Harald Cramér cildi, John Wiley and Sons, New York, 1959.

ve bu dönüşümlerin spektrum üzerindeki etkisini incelemek önemlidir.

Sürecin ortalaması ve varyansı ne olursa olsun, X_t 'nin normal dağılımı durumunda $Prob(X < 0)$ sıfır olmayacağı ve Y_t 'nin gerçek olmayacağı bir durumu tartışmanın bir anlamı yoktur. Böylece, $X_t \geq 0$ durumunu değerlendirmemiz ve X_t 'nin lognormal (logaritmik normal dağılım) dağıldığını varsayarsak, dönüşümün etkileri kolaylıkla incelenebiliriz. Bu varsayım, $\{Y_t\}$ normal süreç olacaktır. Şimdi;

$$\begin{aligned} E[X_t] &= \alpha, & E[(X_t - \alpha)(X_{t-\tau} - \alpha)] &= \beta R_x(\tau) \\ E[Y_t] &= m, & E[Y_t X_{t-\tau}] &= \sigma^2 R_y(\tau) + m^2 \end{aligned}$$

burada $|R_x(\tau)| \leq R_x(0) = 1$, $|R_y(\tau)| \leq R_y(0) = 1$. x normal dağıldığında $N(m, \sigma)$, $E[e^x] = \exp(\frac{1}{2}\sigma^2 + m)$ olacağı gereceğini kullanarak,

$$\alpha = E[X_t] = E[e^{Y_t}] = \exp(\frac{1}{2}\sigma^2 + m)$$

ve

$$E[Y_t X_{t-\tau}] = E[\exp(Y_t + Y_{t-\tau})] = \exp(\sigma^2 + 2m + \sigma^2 R_y(\tau))$$

Böylece;

$$\beta R_x(\tau) = \exp(\sigma^2 + 2m) [\exp(\sigma^2 R_y(\tau)) - 1]$$

ve buradan;

$$\sigma^2 R_y(\tau) = \log[1 + \mu^2 R_x(\tau)] \quad (2.174)$$

burada, $\mu^2 = \frac{\beta}{\sigma^2}$ (μ , varyasyon katsayısı olarak adlandırılır). $\mu^2 \leq 1$ olduğunda Eşitlik 2.174'deki logaritma güç serisi olarak genişletilebilir;

$$\begin{aligned} \sigma^2 R_y(\tau) &= \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j+1} \frac{\mu^{2j}}{j} (R_x(\tau))^j \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j+1} \frac{(\beta R_x(\tau))^j}{j \alpha^{2j}} \end{aligned} \quad (2.175)$$

Eğer, $\{Y_t\}$ sürecinin güç spektrumu $f(\varpi)$ ise, bu durumda;

$$\beta R_x(\tau) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} f_x(\omega) d\omega$$

ve bu durumda;

$$[\beta R_x(\tau)]^n = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} f_x^{(n)}(\omega) d\omega \quad (2.176)$$

burada, evrişimler (*convolutions*) dizisi $f_x^{(j)}(\omega), j = 1, 2, \dots$, şu şekilde verilir;

$$f_x^{(1)}(\omega) = f_x(\omega), \quad f_x^{(n)}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} f_x^{(n-1)}(\lambda - \omega) f_x(\lambda) d\lambda \quad (2.177)$$

Böylece, 2.175, 2.176 ve 2.177 nolu eşitliklerden, $\{Y_t\}$ sürecinin güç spektrumu;

$$f_y(\omega) = \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j+1} \frac{f_x^{(j)}(\omega)}{j\alpha^{2j}} \quad (2.178)$$

Bu eşitlik, $\{X_t\}$ süreci tam periyodik bileşen içermediği ve aşağıdaki şart sağlandığında geçerlidir;

$$\frac{\sigma_x^2}{m_x^2} \leq 1 \quad (2.179)$$

Logaritmik dönüşüm sıfıra yakın değerler için çok hassas olduğu için, böyle bir durumun ortaya çıkması sürpriz değildir. Eşitlik 2.179'daki şart doğrudan, bu tür değerler çok ender görülecektir. Bu koşulla, ilk bir veya iki terim, oluşturulan $\{Y_t\}$ serisinin güç spektrumuna makul bir yaklaşım sağlar. Özellikle, eğer ortalama, orijinal serinin standart sapmasından çok daha büyükse, spektrumun şekli logaritmik dönüşümle bir miktar değişecektir.

2.2.2.8. Spektral Tahmin

Ekonomik verilerin spektral tahmini;

$$f(\omega_j) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \lambda_0 C_0 + 2 \sum_{k=1}^m \lambda_k C_k \cos \omega_j k \right\}; \quad \omega_j = \frac{\pi j}{m}, \quad j = 0, \dots, m \quad (2.180)$$

ve tahmin edilen kovaryanslar da aşağıdaki şekilde verilir;

$$C_k = \frac{1}{n-k} \left\{ \sum_{t=1}^{n-k} x_t x_{t+k} - \frac{1}{n-k} \sum_{t=1+k}^n x_t \sum_{t=1}^{n-k} x_t \right\} \quad (2.281)$$

Burada; $(x_t, t = 1, 2, \dots, n)$ verileri ve λ_k 'da genellikle m 'ye bağlı olan ağırlıkları göstermektedir. Bazı ekonomistler, $n-k$ yerine sadece n 'i kullanmak konusunda tartışmışlar ancak $n \gg m$ olduğunda aradaki farkın ihmal edilebileceğini görmüşlerdir²¹².

Durağan serilerin bölünmesinden ortaya çıkan farklı salınımların genlikleri rastgele değerlerdir ve aldıkları değerler ile tanımlanırlar. Verilen her salınım periyoduna karşılık gelen varyans, incelenen sürecin spektrumunu belirler. Çeşitli sinüzoidler arasındaki farklar önemsizdir.

Daha doğrusu, stokastik süreç $[X_t]$ 'nin spektrum fonksiyonu, sürecin ilişkilerinin Fourier ayrışmasındaki ω frekansın genliğinin karesinin beklenen değerinin çarpımsal sabitinin tanımladığı $f(\omega)$ fonksiyonudur. Spektrum, böylece, söz konusu olan süreçteki farklı frekansların önemini tanımlar. Hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılır. Durağan bir süreç için, yansız tahminci, sürecin tek bir defa gerçekleşmesinden hesaplanabilir. Sürecin X_t ve $t=1, 2, 3, \dots, T$ olduğu varsayıldığında, tahminci periyodogramdır ve şu formülle gösterilir;

$$I(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{\theta=1}^{T-1} v_\theta \cos \omega \theta$$

²¹² PARZEN, Emanuel, "Mathematical consideration in the estimation of spectra", Technometrics, Cilt 3, Sayı 2, 1961, ss.167-190.

v_θ , yaklaşık olarak ampirik otokovaryans ve \bar{x} de serinin ampirik ortalaması olduğundan;

$$v_\theta = \frac{1}{2} \sum_{\theta=1}^{T-\theta} (x_t - \bar{x})(x_{t+\theta} - \bar{x})$$

Hiçbir yanlılık olmamasında rağmen, periyodogram, yakınsak olmadığına iyi bir spektrum tahmincisi değildir. Bu nedenle $I(\omega)$ fonksiyonu, ω ile değişen varyanslarının ortalama trendini temsil eden daha düzenli bir fonksiyonla gösterilebilir. Bu gösterime periyodogramın düzeltilmesi de denir ve şu şekilde gösterilebilir;

$$f'(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\theta=-m}^m \left(1 + \cos \frac{\theta\pi}{m}\right) v_\theta \cos \omega\theta \quad (2.182)$$

Bu formül Tuckey-Hanning'in tahmin fonksiyonu olarak adlandırılır. Diğer bir adı da "spektral pencere" (*spectral window*) dir. Diğer bir tahmin fonksiyonu da bitişik olmayan frekans bantlarında daha az sızıntıya neden olan Parzen'in tahmin fonksiyonudur, ancak bu fonksiyon ardışık tahmin değerleri arasında daha fazla korelasyona neden olur. Nihayet, spektrumun tahmini geliştirmek için, X_t serisi öncelikle bir dönüşüme tabi tutularak, filtrelenmiş verilerin seriyi daha iyi temsil etmeleri sağlanabilir. Ayrıca, λ_k 'nin seçimi içinde bu çalışmada, bilgisayar yazılımlarında temel aldığı için, Tukey-Hanning tahmini kullanılacaktır. Bunun dışında, Jenkins, Parzen, Hannan, Granander ve Rosenblatt gibi bilim insanlarının da bu konuda çalışmaları olmuştur. Tukey-Hanning ağırlık eşitliği aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$\lambda_k = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi k}{m}\right]$$

ve spektrumun tahmini için geçerli formül;

$$L_j = \frac{1}{2\pi} \left(C_0 + 2 \sum_{k=1}^{m-1} C_k \cos \frac{\pi k j}{m} + C_m \cos \pi j \right)$$

$$U_j = 0,25L_{j-1} + 0,50L_j + L_{j+1}$$

Burada; $L_{-1} = L_{+1}$, $L_{j-1} = L_{j+1}$ dir ve L_j 'ler ham tahminleri, U_j 'ler de düzleştirilmiş tahminleri verir ve özgün gösterimi $U_j = \hat{f}(\varpi_j)$ şeklindedir. Burada, Tukey tahmininin $\left(\frac{\pi j}{m} \pm \frac{\pi}{2m}\right)$ aralığındaki spektral kütle için verileceği bilinmelidir. Tukey tahminin önemli avantajı, bir frekans bandından diğer frekans bandına çok küçük bir sızıntının olmasıdır. Tukey-Hanning tahminin dezavantajı, pozitif çıkması gereken tahminleri bazen negatif hesaplamasıdır.

Literatürde ve ampirik uygulamalarda genellikle Hodrick ve Prescott tarafından önerilen filtre yöntemi kullanılır²¹³. Bu yöntem, uygulamadaki kolaylığı, pek çok istatistiki çalışmada yeterli sonuçlar vermesi, uluslararası ve ulusal pek çok çalışmadan otoriteler tarafından kullanılması nedeni ile öncelikle tercih edilmektedir²¹⁴.

Parzen de tahmin için farklı bir yöntem geliştirmiştir. Bu tahmin yönteminde hesaplamalar hiçbir zaman negatif sonuç vermediği gibi, tahmin penceresi daha geniş olup (örneğin, $\hat{f}(\varpi_j)$ ve $\hat{f}(\varpi_{j+2})$ arasındaki korelasyon Tukey penceresinden daha büyüktür) komşu olmayan frekans bantları arasında daha az sızıntı oluşur. Parzen tahmini için ağırlıklar;

$$\begin{aligned} \lambda_k &= 1 - \frac{6k^2}{m^2} \left[1 - \frac{k}{m}\right], & 0 \leq k \leq \frac{m}{2} \\ &= 2 \left(1 - \frac{k}{m}\right)^3, & \frac{m}{2} \leq k \leq m \end{aligned}$$

bu durumda da tahmin fonksiyonu;

$$U_j^* = \frac{C_0}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{m/2} \left[1 - \frac{6k^2}{m^2} \left(1 - \frac{k}{m}\right)\right] C_k \cos \frac{\pi k}{m} j + \frac{2}{\pi} \sum_{k=\left(\frac{m}{2}\right)+1}^m \left(1 - \frac{k}{m}\right)^3 C_k \cos \frac{\pi k}{m} j$$

Kovaryans tahminleri ise;

²¹³ HODRICK, Robert J.; PRESCOTT, Edward C., "Post-War US Business Cycles: An Empirical Investigation", Journal of Money, Credit and Banking, Cilt 28, Sayı 4, Şubat 1997, ss.1-16.

²¹⁴ DIEBOLT, Claude; DOLIGER Cédric, "Economic Cycles under Test: A Spectral Analysis", NATO Security through Science series E: Sayı 5, Kondratieff Waves, Warfare and World Security, 2006.

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}), \quad \text{burada } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n x_t$$

Eşitlik 2.180’da ve diğer formüllerde kullanılan m tamsayı değeri örnek alma veya kullanılan gecikme sayısı olarak adlandırılır. Analizcinin inisiyatifinde seçilen bu sayı, tahmin edilecek spektrumdaki frekans bantlarının sayısını belirler. İstatistikçiler, m değerinin, n adet veri için $n/3$ ’den küçük olmasını, $n/5$ veya $n/6$ değerinin mantıklı olacağını kabul etmektedirler. Ayrıca, m değeri küçüldükçe, spektrum daha az noktada tahmin edileceğinden, her noktadaki tahminin varyansı daha küçük olacak ve sonuç olarak daha iyi bir tahmin elde edilecektir.

Bununla birlikte, ekonomik seriler $\hat{f}(\varpi_j) - j$ eksenine yerine $\log \hat{f}(\varpi_j) - j$ ekseninde çizilirler. Bunun nedenleri ise; (i) ekonomik serilerde alçak frekanslardaki bilgilerin daha önemli olması, (ii) güven aralıklarının tahmin edilen spektraya yarı logaritmik kâğıt üzerinde daha kolay eklenebilmesindedir.

Burada ikinci neden ile anlatılan, yaklaşık olarak $(100-\alpha)\%$ güven aralığında tüm j değerleri için $(T_\alpha(m, n)\hat{f}(\varpi_j), T'_\alpha(m, n)\hat{f}(\varpi_j))$ ile veya yarı logaritmik kâğıt üzerinde $(\log \hat{f}(\varpi_j) + \log T_\alpha(m, n), \log \hat{f}(\varpi_j) + \log T'_\alpha(m, n))$ ile verilir. Tukey-Hanning tarafından kullanılan $T_\alpha(m, n)$, $T'_\alpha(m, n)$ tahminleri;

$$T_\alpha(m, n) = \frac{x_{100-\alpha}^2(k)}{k} \quad \text{ve} \quad T'_\alpha(m, n) = \frac{x_\alpha^2(k)}{k}$$

burada;

$x_\beta^2(s)$: s serbestlik dereceli x^2 'nin $\beta\%$ değeri,

$k = \frac{2n}{m}$: n kullanılan veri adedi,

m: tahminde kullanılan gecikme sayısıdır.

k “eşdeğer serbestlik derecesi” (*equivalent degrees of freedom*) olarak adlandırılır; n ve m cinsinden belirtilen k 'nin değeri analiz edilen serinin tam olarak normal dağılıma sahip olmasını gerektirmez. $T_\alpha(m, n)$, $T'_\alpha(m, n)$ değerleri ile ilgili tablo Ek 2’de verilmiştir.

Spektral teori, ele alınan güven aralıklarının spektrumun frekans bandı boyunca sabit olduğunu varsaysa da, bu bantların kullanım amacı, oluşan zirve noktalarının gerçekten spektrumdaki rastgele dalgalanmalardan kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirlemektir. Bu zirveleri incelemenin daha basit yöntemi de harmoniklerin incelenmesidir. Bu konuda daha detaylı bilgi Parzen²¹⁵ ve Granger²¹⁶'in çalışmalarında bulunabilir.

Spektral analiz özellikle ikinci momentlerle ilgilenir ve normal veya Gaussian dağılıma sahip serilerde etkin sonuç verebilir. Yapılacak analizlerde, ekonomik serilerin tamamıyla normal olduğu kabul edilse de bazı testlerin yapılmasında fayda vardır. Lomnicki tarafından geliştirilen bu test aşağıda verilmiştir²¹⁷;

Verilen veri seti $x_t, t=1, \dots, n$ şeklide olmak üzere,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$$

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^j, \quad j = 2, 3, 4$$

$$G_1 = M_3 M_2^{-3/2} \quad \text{ve} \quad G_2 = M_4 M_2^{-2} - 3$$

$A \sim N(\alpha, \beta)$ gösterimini kullanarak, A 'nın α ortalama ve β standart dağılımla asimptotik normal dağıldığında, eğer veri durağan normal bir süreç ise;

$$G_1 \sim N(0, R_1), \quad G_2 \sim N(0, R_2)$$

burada;

$$R_1^2 = 6 \sum_{q=-\infty}^{\infty} \rho_q^3 \quad \text{ve} \quad R_2^2 = 24 \sum_{q=-\infty}^{\infty} \rho_q^4$$

Burada, ρ_q incelenen sürecin q 'ncü otokorelasyon katsayısıdır.

²¹⁵ PARZEN, Emanuel, "Mathematical consideration in the estimation of spectra", Technometrics, Cilt 3, Sayı 2, 1961, ss.167-190.

²¹⁶ GRANGER, Clive W. J.; HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.52-73.

²¹⁷ LOMNICKI, Z. A., "Test for Departure from Normality in the Case of Linear Stochastic Process", Metrika, Cilt 4, Sayı 1, 1961, ss.37-61

2.2.2.9. Çapraz Spektral Analiz

Spektral analiz tekniğinin ekonomide kullanıldığı 1960'lı yıllardan itibaren, serilerin yapısı hakkında daha fazla bilgiye sahip olma isteği ve çağdaş tekniklerin gelişmesi bu konudaki çalışmaları artırmıştır. Mevsimsel düzeltmeler ile başlayan bu çalışmalar, daha sonraları ekonomik değişkenler arasındaki ilişkileri araştıran ve belirleyen Çapraz-Spektral Analizin (*Cross-Spectral Analysis*) bulunmasını sağlamıştır. Bu konudaki çalışmalar, tartışmalı trend-döngü analizi ve buna bağlı konjonktür ile ilgili problemler, seriler arasındaki ortak hareketlerin analizleri ve uluslararası konjonktür ile ilgili konular da Çapraz-Spektral Analizin uygulama alanına girmiştir. Pek çok çalışmada iki değişken hakkında veri toplanması, bu iki değişken arasındaki istatistiksel ilişkinin bulunması ve analiz edilmesi, esas amaç olmuştur. Spektral analiz açıklayıcı bir teknik olup, doğrudan doğruya tahmin amacıyla kullanılamayacağı halde, döngüsel olayları açıklamakta ve öncül ile takipçi (*lead-lag relationship*) arasındaki ilişkileri vurgulamakta önemli bir araçtır. Döngüsel olaylar olmadığında ise, spektral analizi kullanmak doğru sonuç vermez, bunun yerine zaman serileri regresyon modeli uygulanabilir. Çapraz-Spektral Analiz, her serinin biçimsel ve niceliksel bileşenlerini filtreleme yöntemi ile titiz ve çok yönlü olarak inceleyerek, serinin özü hakkında güvenilir bilgi verir; seriler arasında detaylı bir korelasyon analizi sağlar. Ayrıca, çapraz spektral analiz ve filtreler birlikte kullanılarak, serilerdeki trend, konjontrürel ve mevsimsel döngülerin yanında belirli frekanslardaki diğer salınımlar da ayrıştırılarak analiz edilebilir²¹⁸.

Ekonometride spektral analizi kullanmanın farklı sebepleri olabilir. Amaç genellikle ekonomik olaylardaki döngüleri bulmak veya öncül ile takipçi arasındaki ilişkileri (*lead-lag relationship*) takip etmek olabilir. Bu konudaki çalışmalar, Tepe Avı (*peak hunting*) ve Uyumlu Fazı Bulma (*coherence-phase finding*) olarak da adlandırılmaktadır. Tepe Avı, analiz edilen serilerin içinde en fazla güce sahip olan frekansları tespit etmek iken; Uyumlu Fazı Bulma, öncelikle analiz edilen iki serideki çapraz-spektrumu bulmak ve daha sonrada diğerlerinden daha fazla uyuma sahip frekansları tespit etmek olarak açıklanabilir. Bu frekanstaki faz açısı, öncü ile takipçi arasındaki ilişkiyi bulmak için incelenir. Faz açısı, frekans ortamında, bir serinin diğer serisiyle ne kadar ilgili olduğunu ölçer.

²¹⁸ IACOBUCCI, Alessandra, "Spectral Analysis for Economic Time Series", No 2003-07, Documents de Travail de l'OFCE, Observatoire Francais des Conjonctures Economiques (OFCE), Kasım 2003.

Özellikle, ekonomideki genişleme ve daralma dönemlerinde bir veya en fazla birkaç defa istikrar politikaları uygulayarak, tepe ve dip noktadaki ekonomik baskıyı azaltmak gerektiğinden, farklı ekonomik göstergeler arasındaki zaman farkı, ekonomi yöntemi için önemli bir bilgi olmaktadır. Öncül ile takipçi arasındaki ilişkilerin (*lead-lag relationship*) belirlenmesi ile yapılabilecek bu işlem, serbest piyasa şartlarında çok da kolay değildir. Zorluğun teknik nedenleri ise, ekonomik zaman serilerindeki rastgele bozulma ve tahmin hatalarıdır. Bu nedenle, sadece tepe ve dip noktadaki öncül ile takipçi ilişkileri yerine, tüm zaman noktalarındaki öncül ile takipçi ilişkilerini incelemek daha doğru ekonomik politikalar üretilmesini sağlayabilir. Prof. John Tukey tarafından geliştirilen Çapraz Spektral Analiz, periyodik olmayan döngüsel bileşenlerden oluşan zaman serilerinde tüm zaman noktaları arasındaki ilişkiyi incelemenin iyi bir yöntemidir²¹⁹.

Tanım olarak, çapraz-spektrum frekans düzlemindeki iki zaman serisinin kovaryans fonksiyonudur. Uyum (*coherence*), iki serisinin arasında belli bir frekansta mevcut olan benzerliği ölçer ve tahmin katsayısı (R^2) farklı olmayan bir şekilde yorumlanabilir²²⁰. Çapraz-spektrum, verilen iki zaman serisinin spektral bileşenlerinin arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılır. Uyum (*coherence*), karşılık gelen frekans bileşenleri arasındaki korelasyon katsayısının karesinin tahmini sağlar. Burada önemli bir konu, her bir serinin spektrumu tepe noktası göstermediği noktada, iki serinin çapraz spektrumu tepe noktası verebilir.

Çapraz spektrumun diğer bileşeni de faz diyagramıdır ve seriler arasındaki gecikmeyi belirler. Faz diyagramının özellikleri, uyum diyagramının mukabil değerleri ile değiştiği için, tahmin etmek daha zordur.

En basit analiz, X ve Y zaman serilerinin arasındaki gecikmesiz ilişkinin hesabıdır. Bu analiz faydalı sonuçlar verebilmesine karşın, tüm ilişkiyi gösteremeyebilir. Bu durumda, X ve Y zaman serileri arasındaki ilişki, zamanın gecikmeli fonksiyonuna göre nasıl değiştiği ile incelenebilir ve özellikle bu ilişkinin kaynağının her bir serinin otokorelasyonun olup olmadığı analiz edilebilir. Kullanılabilecek en basit yöntem, sürekli aralık/oran değişken çiftlerinin doğrusal

²¹⁹ HATANAKA, Michio, "A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point", Research Memorandum No 53, Princeton University, Econometric Research Program, Princeton, 1965.

²²⁰ PERCIVAL, John R. "Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time", Workin Paper No:10-76, University of Pennsylvania, The Wharton School, 1973.

ilişkinin ölçen *Pearson r*'dir. Eğer zaman serileri arasındaki ilişki doğrusal değilse, bu ilişkiyi analiz etmek için veri dönüşümü veya farklı istatistiksel yöntemler kullanılmalıdır.

Pearson r'1, $(X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ ve $Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n)$ şeklinde dizilmiş iki değişkenin gecikmesiz zaman serilerine uygulanarak, bu iki değişken arasındaki genel ilişki hesaplanır. Bu yöntemde, X bağımsız değişken Y ise bağımlı değişken olarak varsayılır. *Pearson r*'1, trend, döngüler ve rastgele değişkenlerin tamamını değerlendirir. Bununla beraber, *Pearson r*'in kullanımı, serilerin kendi içindeki otokorelasyonu, zaman gecikmesine dayalı bağımlılıkları göz önüne almadığı için, ayrıca, serilerdeki verilerin bağımsız gözlemler olmamasından dolayı her çalışmada doğru sonuçlar vermez. Anlamlılık testi için gerekli olan bağımsız hata değerlerini sağlamaz; serileri bileşenlerine ayırmadığı için, bileşenlerden dolayı var olan seriler arasındaki ilişkiyi açıklayamaz. Eğer bu tür serilere, anlamlılık testleri yapmak istenirse, trendlerin, döngülerin ve diğer modellerin oluşturduğu seri bağımlılığı, seriden çıkartılmalı ve böylece, kalan veri üzerinde hata varyansı tahmin edilerek hatasız istatistiksel anlamlılık testleri uygulanabilir. Eğer bir seri;

$$X_t = \mu + bt + R\cos(\omega t) + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} \dots + \phi_k X_{t-k} + \epsilon_t$$

Burada;

X_t : t anındaki gözlemlenen X değeri,

μ : tüm serinin ortalaması,

bt : doğrusal trend bileşeni,

R : sinüzoidal bileşenin genliği,

ω : sinüzoidal bileşenin radyan cinsinden frekansı = $2\pi/\tau$,

$\phi_k X_{t-k}$: X_t 'yi etkileyen k dönem önceki gecikmeli otoregresif terim,

ϵ_t : beyaz gürültü,

olarak gösterilir.

Denklemden, trend, döngü ve otoregresyon bileşenlerini X_t zaman serisinden çıkarırsak seriden kalanlar beyaz gürültü olarak adlandırılır ve şu eşitlikle gösterilir;

$$\epsilon_t = X_t - \mu - bt - R\cos(\omega t) - \phi_1 X_{t-1} - \phi_2 X_{t-2} \dots - \phi_k X_{t-k}$$

Eğer eşitlik tüm seri bağımlılığına neden olan kaynakları gösteriyorsa, bulunan ϵ_t tamamıyla korelasyonsuz olacaktır ve Box-Ljung testi uygulanarak bu test edilebilir. Bulunan ϵ_t değeri, model parametrelerinin anlamlılığını test etmek için kullanılabilir²²¹.

Serilerin arasında önceden dikkate alınması gerekli olan diğer konu da, sahte ilişkidir (*spurious correlation*). Döngüleri, trendleri benzer olan seriler arasında her zaman sahte ilişki olmayabilir. Bazı durumlarda ise, üçüncü makul bir değişken bu ilişkinin kaynağı olabilir. Seri üzerinde işlem yapmadan önce, nedensel çıkarım yapılarak farklı etkenlerin varlığı araştırılmalıdır. Ekonomik zaman serilerindeki trendler arasındaki korelasyon genellikle sahte oldukları varsayılarak dikkate alınmaz iken; hafta sonu etkisi, yaz etkisi, bayram etkisi ve yılbaşı etkisi gibi değişkenler ekonomik zaman serilerindeki üçüncü makul değişken olarak gözlemlenir²²².

Zaman serileri arasında zaman gecikmeli (*time-lagged*) bağımlılığın incelenmesi de zaman serilerinin karakteristiği hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu incelemenin yapılması, öncelikle zaman serisinden elde edilen verilerin örneklendiği zaman aralığına (Δt) bağlıdır. Eğer zaman aralıkları (Δt), bir zaman serisinin diğer zaman serisine vereceği en kısa tepki süresine seçilmelidir. İki zaman serisi arasındaki gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonu (*lagged cross correlation function – CCF*) kullanılarak bir zaman serisi, diğer zaman serisinin önceki verilerinden tahmin edilebilir. Bu ilişki, her iki zaman serisinin de birbirini etkileyen simetrik bir modele sahip olabileceği gibi, sadece bir zaman serisinin diğerini etkileyeceği asimetrik bir modele de sahip olabilir²²³. Zaman serileri arasındaki çapraz korelasyon, pozitif zaman gecikmesi (X_t, Y_{t+k}) veya negatif zaman gecikmesine (X_t, Y_{t-k}) göre hesaplanır. Sıfır (0) zaman gecikmesine göre elde edilen sonuç, aslında iki zaman serisi arasındaki basit korelasyonu gösterir. Gecikmeli çapraz korelasyon grafiği, hem öngörülebilirlikteki asimetriyi, hem de hangi zaman gecikmesinde en yüksek korelasyonun belirlenmesini sağlar. Bu analizlerin yapılabilmesi için serilerin trend ve sinüzoidal bileşenlerden ayrılmış olması ve zaman gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonunun beyaz gürültü üzerine yapılması, anlamlılık testi için tarafsız hatanın (*unbiased error*) elde edilmesini

²²¹ WARNER, Rebecca M., “Spectral Analysis of Time-Series Data”, The Guilford Press, New York, 1988, ss.111-116.

²²² WARNER, Rebecca M., age., ss.118-121.

²²³ GOTTMAN, John M.; RINGLAND, James T., “The Analysis of Dominance and Bidirectionality in Social Development”, Child Development, Cilt 52, Sayı 2, Haziran 1981, ss.393-412.

sağlar. Ayrıca, eğer tüm seri bağımlılık verilerden ayrıştırılırsa, gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonu X ve Y 'nin anlık değişimlerdeki kovaryasyonu belirler.

Zaman serilerinden ardışık bağıntılı verileri çıkarmak, yansız istatistiki anlamlılık testlerin yapılabilmesi için ve seriler arasındaki nedensel çıkarımı sağlamak için gerekli olmakla beraber, verilerin içinde bulunan ve zaman serilerinin modeline ait pek çok verinin de kaybolmasına neden olur. Bu nedenle, tarafsız anlamlılık testi mümkün olmadığında ve sonuçların yorumlanması belirsiz olduğunda, basit gecikmesiz korelasyona veya ham verinin çapraz korelasyon fonksiyonuna bakmak faydalı olabilir. Seriler bileşenlerinden arındırılmadığında, zaman serileri arasındaki korelasyon seriler arasında bulunan ve trend, döngü ve artıkların da dahil olduğu tüm ilişkiyi gösterir.

Teorik yöntem açısından ise, çapraz spektral analiz iki şekilde yapılabilir; birincisi, iki düzgünleştirmiş (*smoothing*) tek değişkenli spektranın çapraz ürününü elde etmek; ikincisi ise, seriler arasındaki gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonunun ayrık Fourier Dönüşümünü yapmaktır. Elde edilen karmaşık sayılar doğrudan yorumlanamayabilir, ancak spektrumdaki her bir $N/2$ frekansındaki uyumun ve fazın tahmin edilebileceği değerlere dönüştürülebilir. Örneğin, uyumu gösteren R^2 belli bir frekanstaki iki zaman serisi arasında, belli bir frekanstaki paylaşılan varyansın oranını gösterir. Zaman gecikmelerini gösteren faz, belli bir frekanstaki Y zaman serisinin tepe noktalarının X zaman serilerinin tepe noktalarına olan ilişkilerini gösterir. Bununla beraber, faz genellikle döngülerin payı olarak gösterilirken, gecikme genellikle gecikmeli gözlemlerin sayısı olarak gösterilir. Dolayısıyla, varyansın büyük bölümünü açıklayan frekans bandı ve iki zaman serisi arasındaki gecikme bilinmiyorsa, çapraz spektral analiz tüm $N/2$ frekansları için tüm bu değerlerin tahmini için kullanılabilir. Çapraz spektrumdaki bir veya birkaç frekans bandının uyumunun belirlenmesi, tüm $N/2$ frekans kümeleri boyunca X ve Y serilerinin birbiriyle olan ilişkisinin ne kadar güçlü veya zayıf olduğunu göstermekte kullanılabilir. Tek bir zaman serilerinin $N/2$ frekans kümelerine bölünerek incelendiği tek değişkenli spektral analizde olduğu gibi, çapraz spektra analizde de birbirinden $N/2$ frekans bandıyla ayrılmış zaman serisi çiftleri arasındaki ilişki belirlenir. Çapraz spektral analizde her bir $N/2$ frekans bandı için sırasıyla aşağıdaki bilgilere ihtiyaç olacaktır;

- i. Tek değişkenli periyodogram veya spektral analiz tarafından hesaplanacak olan, her bir tek zamanlı sersindeki varyansın oranının ne kadarının bu frekans bandı tarafından açıklanabilirliği,
- ii. Uyum spektrumu elde edilerek, frekans bandı içinde zaman serisi çiftlerinin birbiriyle ne kadar güçlü ilişkide olduğu belirlenebilirliği,
- iii. Faz spektrumu elde edilerek, zaman serileri arasındaki ve her bir frekans bandındaki faz ve gecikme ilişkisinin belirlenebilirliği.

Çapraz spektrumun hesaplanma yöntemi ise şu şekilde gösterilebilir;

X zaman serisinin Fourier dönüşümü;

$$J_x(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{n-1} X_t e^{-i\omega t}$$

şeklinde gösterilirken, Y zaman serisinin de Fourier dönüşümü $J_y(\omega)$ da benzer şekilde gösterilir. Bu durumda, X ve Y zaman serileri arasındaki çapraz periyodogram $I_{x,y}$ şu şekilde hesaplanır;

$$I_{x,y}(\omega) = \frac{N}{2\pi} J_x(\omega) J_y(\omega)$$

$I_{x,y}$ terimi karmaşık sayılardan oluşmaktadır. Çapraz periyodogramı veya çapraz spektrumu oluşturan bu karmaşık sayılar, X ve Y zaman serilerinin arasındaki ve her bir frekansındaki tutarlılığın ve fazın tahmin edilmesinde kullanılır²²⁴.

Çapraz periyodogramın hesaplanmasında alternatif bir yol olarak, X ve Y zaman serileri, önce gecikmeli çapraz kovaryans fonksiyonu hesaplanarak zaman ortamında birleştirilir, daha sonra da bu gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonunun Fourier Dönüşümü yapılarak çapraz periyodogram belirlenir. X ve Y zaman serilerinin r gecikmeli çapraz-kovaryansı, $0, 1, \dots, (n-1)$ aralığında t 'nin aldığı tüm t ve $(t-r)$ değerleri için aşağıdaki şekilde yazılır;

$$c_{x,y,r} = \frac{1}{n} \sum x_t y_{t-r}; \quad |r| < n$$

²²⁴ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, ss.143-144.

Burada, X_t ile Y_{t+r} arasındaki kovaryans ile X_{t-r} ile Y_t arasındaki varyans eşittir. Bu gecikmeli çapraz kovaryans fonksiyonunun Fourier Dönüşümü yapılarak çapraz periyodogramı elde edilir. Eşitlik şu şekilde gösterilir²²⁵;

$$I_{x,y}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{|r|<n} c_{x,y,r} e^{-i\omega r}$$

Bu değer diğer yöntem ile bulunan değere eşittir.

Tek değişkenli zaman serilerindekine benzer olarak, çapraz-periyodogramın düzgünleştirilmesiyle çapraz-spektrum tahmin edilir. Tek değişkenli zaman serilerinde kullanılan pencere yöntemleri çapraz-spektrumu düzgünleştirmede de kullanılabilir.

Çapraz-periyodogram ile bulunan karmaşık sayıları, uyumun ve fazın tahminine çevirmek faydalı bir yöntem olacaktır. $I_{x,y}$ çapraz-periyodogramının düzgünleştirilmiş çapraz-spektrumu $g_{x,y}$ ile gösterilirse, X vey Y zaman serileri arasında ω frekansındaki uyumun karesi $s_{x,y}(\omega)^2$ olarak ifade edilir. Bu durumda, X ve Y zaman serileri arasında ω frekansındaki tahmin edilen uyum (*coherence*) şu eşitlikle belirlenir;

$$s_{x,y}(\omega)^2 = \frac{g_{x,y}(\omega)^2}{g_{x,x}(\omega)g_{y,y}(\omega)}$$

Uyum mutlaka “0” ile “1” arasında bir değer alır. Her bir frekanstaki uyumun karesi, bu frekans bandında iki zaman serisi arasında paylaşılan varyansın oranlarının tahmin edilmesi olarak yorumlanabilir. Burada, periyodogramların düzgünleştirilmiş olması gerektiğini tekrar vurgulamakta fayda vardır. Uyum sadece düzgünleştirilmiş spektra ve çapraz-spektraya uygulanarak tahmin edilebilir.

Çapraz-spektrumun fazı $\Phi_{x,y}(\omega)$ olarak gösterilir ve çarpaz-spektrumun gerçek (*Re*) ve sanal bileşenlerinden (*Im*) hesaplanır ve eşitlik şu şekilde yazılır;

$$\Phi_{x,y}(\omega) = \arctan \left[\frac{Im g_{x,y}(\omega)}{Re g_{x,y}(\omega)} \right]$$

²²⁵ BLOOMFIELD, Peter, “Fourier Analysis of Time Series: An Introduction”, Wiley, New York, 1976, s.212.

Bu faz (Φ) tahminin örnekleme hatası, uyumun karesinin bir fonksiyonudur; eğer örnekleme hatası küçükse uyumun karesi büyüktür. Belli bir frekanstaki uyumun karesi 0'a yaklaşıyorsa, Φ 'nin örnekleme hatası son derece büyük olur; hatta uyum 0'a yaklaştığı frekanslarda faz (Φ) tanımlanmaz²²⁶.

Çapraz spektral analizi, teorik amaçla ve yüksek matematik eşitlikleri ile açıklamak gerekirse de şu şekilde anlatılabilir. Zaman serileri, (X_t ve Y_t)'nin birinci ve ikinci momentleri zamandan bağımsız ise bu seriler durağandır. Bu durumda, durağan süreç teorisine göre, ω_j merkezli bileşen sadece değişkenin diğer bileşenlerinden değil, ω_j merkezli olsun veya olmasın diğer değişkenlerin bileşenlerinden de bağımsızdır. İki durağan süreç arasındaki ilişkinin tanımı, [X_t] sürecinin frekans bileşeni ω 'nin, [Y_t] sürecinin frekans bileşeni ω ile ne ölçüde ilişkili olduğu ve aralarındaki faz farkının ne olduğuna bağlıdır.

$f_x(\omega)$ ve $f_y(\omega)$, $\{X_t\}$ ve $\{Y_t\}$ süreçlerinin sırasıyla güç spektralleri olduğundan;

$$Cr(\omega) = c(\omega) + iq(\omega)$$

$\{X_t\}$ ve $\{Y_t\}$ arasındaki çapraz güç spektrumu olmak üzere; $c(\omega)$ eşspektrum (*co-spektrum*) ve $q(\omega)$ de dörütlü veya dördün spektrumu (*quadrature spectrum*) olarak bilinir. Bu fonksiyon, her zaman uyum eşitsizliğini verir;

$$c^2(\omega) + q^2(\omega) \leq f_x(\omega) + f_y(\omega) \quad (2.183)$$

Burada fonksiyonları;

$$f_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left(\mu_{xx}(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{\infty} \mu_{xx}(\tau) \cos \tau \omega \right)$$

$$f_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left(\mu_{yy}(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{\infty} \mu_{yy}(\tau) \cos \tau \omega \right)$$

²²⁶ BLOOMFIELD, Peter, "Fourier Analysis of Time Series: An Introduction", Wiley, New York, 1976, s.225.

$$c(\varpi) = \frac{1}{2\pi} \mu_{xy}(0) + \frac{1}{n} \sum_{\tau=1}^{\infty} (\mu_{xy}(\tau) + \mu_{yx}(\tau)) \cos \tau \varpi$$

$$q(\varpi) = \frac{1}{n} \sum_{\tau=1}^{\infty} (\mu_{xy}(\tau) - \mu_{yx}(\tau)) \sin \tau \varpi$$

olarak gösterilir ve bu durumda da, iki süreçteki iki frekans bileşeni arasındaki korelasyon şu formülle verilir:

$$C(\omega) = \frac{c^2(\varpi) + q^2(\varpi)}{f_x(\varpi) f_y(\varpi)} \quad (2.184)$$

$C(\omega)$, ω 'deki uyumu gösterir ve $0 \leq C(\omega) \leq 1$ aralığındadır. $C(\omega)$ ne kadar büyükse iki seri o kadar uyumludur. $C(\omega)$ 'nin $0 \leq \omega \leq \pi$ aralığında ω 'ye göre çizimi de uyum diyagramını (*coherence diagram*) verir. İki süreç frekansları arasındaki fazın ölçümü;

$$\psi(\varpi) = \arctan \left(\frac{q(\varpi)}{c(\varpi)} \right)$$

eşitliği ile hesaplanır $\Psi(\omega)$ 'nin $0 < \omega < \pi$ aralığında Ψ 'ye göre çizimi faz diyagramını (*phase diagram*) verecektir.

Diğer bir diyagram da argan diyagramı (*Argand diagram*) veya frekans yanıtı diyagramıdır (*frequency-response diagram*). Değişik ω değerleri için aşağıdaki eşitlik ile hesaplanarak çizilebilir;

$$\left(\frac{c(\varpi)}{f_x(\omega)}, \frac{q(\varpi)}{f_x(\omega)} \right)$$

Nihayet, sıklıkla kullanılan son diyagram ise kazanç diyagramıdır (*gain diagram*) ve eşitliği;

$$f_y(\varpi) R_{xy}^2(\varpi) = f_x(\varpi) C(\varpi)$$

ile verilir ve kazanç diyagramı, $R_{xy}(\omega)$, ω 'ye göre çizilir. $R_{xy}(\omega)$, aslında, $\{X_t\}$ sürecinin, ω frekansındaki $\{Y_t\}$ süreci üzerindeki regresyon katsayısıdır²²⁷.

Çapraz spektrumun tahmini ise, veri $\{x_t, y_t; t=1, \dots, n\}$ şeklinde tanımlanırsa, $k=0, 1, \dots, m$ değerleri için;

$$C_{xy}(-k) = C_{yx}(k) = \frac{1}{n-k} \left\{ \sum_{t=1}^{n-k} x_t y_{t+k} - \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n y_t \sum_{t=1}^{n-k} x_t \right\}$$

$$C_{yx}(-k) = C_{xy}(k) = \frac{1}{n-k} \left\{ \sum_{t=1}^{n-k} y_t x_{t+k} - \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n x_t \sum_{t=1}^{n-k} y_t \right\}$$

olmak üzere; eşspektrum ve dörtlü spektrumun tahminleri şu şekilde verilebilir;

$$\hat{c}(\omega_j) = \frac{\lambda_0}{4\pi} (C_{xy}(0) + C_{yx}(0)) + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^m \lambda_k (C_{xy}(k) + C_{yx}(k)) \cos \omega_j k$$

$$\hat{q}(\omega_j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^m \lambda_k (C_{xy}(k) - C_{yx}(k)) \sin \omega_j k$$

$$\omega_j = \frac{\pi j}{m}, \quad j = 0, \dots, m$$

λ_k ağırlıkları, güç spektrumu tahmininde kullanılanlar ile aynıdır, dolayısıyla seçilebilecek birden fazla tahmin vardır. Tukey-Hanning tahmini bunlardan biridir ve ağırlıkları;

$$\lambda_k = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi k}{m} \right]$$

şeklinde verilir. Diğer bir tahmin de Parzen ağırlıklarıdır;

$$\lambda_k = 1 - \frac{6k^2}{m^2} \left(1 - \frac{k}{m} \right), \quad 0 \leq k \leq \frac{m}{2}$$

²²⁷ GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.75-78.

$$= 2 \left(1 - \frac{k}{m}\right)^3, \quad \frac{m}{2} \leq k \leq m$$

buradan da tahminler şu şekilde elde edilebilir;

$$\hat{C}(\omega_j) = \frac{\hat{c}(\omega_j)^2 + \hat{q}(\omega_j)^2}{\hat{f}_x(\omega_j)\hat{f}_y(\omega_j)}$$

$$\hat{\psi}(\omega_j) = \arctan\left(\frac{\hat{q}(\omega_j)}{\hat{c}(\omega_j)}\right)$$

$$\hat{f}_y(\omega_j)\hat{R}_{xy}^2(\omega) = \hat{f}_x(\omega_j)\hat{C}(\omega_j)$$

burada, $\hat{f}_x(\omega_j)$ ve $\hat{f}_y(\omega_j)$, sırasıyla $\{X_t\}$ ve $\{Y_t\}$ serilerinin güç spektrumlarıdır²²⁸. $\hat{C}(\omega_j)$ 'nin 0-1 aralığı dışında tahmin edilmesi, analizi çok zor bir duruma getirir bu nedenle bu, $\hat{C}(\omega_j) < 0$ olduğunda $\hat{C}(\omega_j)$ sıfır; $\hat{C}(\omega_j) > 1$ olduğunda ise eğer tahmin edilen güç spektrumu çok küçük ise $\hat{C}(\omega_j)$ sıfır, eğer tahmin edilen güç spektrumu küçük değilse $\hat{C}(\omega_j)$ bir olarak kabul edilir.

Buraya kadar olan kısımda $\{X_t\}$ sürecinin, diğer süreç olan $\{Y_t\}$ 'yi nasıl etkilediği anlatılmıştır. Ancak, ekonomik sistemlerde, $\{Y_t\}$ süreci, geri besleme yoluyla $\{X_t\}$ sürecini de etkileyebilir. Bu tür ilişkilerin olduğu zaman serilerini çapraz spektral analiz yöntemiyle incelemek, analizi daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Ancak, matematiksel matrisler kullanılarak çözümün sağlanabileceği görülmüştür. Bu konuda daha detaylı bilgiler, Granger Ve Hatanaka'nın "Spectral Analysis of Economic Time Series" ve Nerlove, Grether ve Carvalho'nun "Analysis of Economic Time Series" adlı kitaplarında bulunabilir.

2.2.2.10. Spektral Pencere

Filtrelerde olduğu gibi, spektral pencereler de spektral analizin daha etkin olarak kullanılmasını ve hatanın azaltılmasını sağlarlar. Sonlu serilerde, her bir tek frekanstaki güç spektrumu N sayıdaki veriyle dalgalandığı için, normal olarak hesaplanan

²²⁸ GRANGER, Clive W.J., HATANAKA, Michio, "Spectral Analysis of Economic Time Series", Princeton University Press, Princeton, 1964, ss.95-108.

periyodogram, bir pencere yardımıyla varyansı azaltılarak daha kararlı hale getirilebilir. Diğer bir anlatımla, spektral analizde düzgünleştirme (*smoothing*) işlemi için spektral pencereler (*spectral windows*) kullanılır. Bu teknik hem zaman, hem de frekans düzlemlerinde kullanılarak, tüm ani hareketleri yumuşatmak ve sahte dalgalanmaları azaltmak için kullanılır²²⁹. Spektral pencereler ile ilgili olarak pek çok kaynak mevcuttur. Hamming, Bartlett, Parzen, Tukey and Daniel (eşit ağırlık) pencereler spektral analiz için kullanılan pencere yöntemleridir. Basitliğinden dolayı genellikle kullanılan Daniel penceresidir.

Pencereler genel olarak bir transfer dönüşüm fonksiyonlarıdır ve teorik gösterimleri;

$$\hat{S}_u(k) = \Delta t \sum_{J=-(N-1)}^{N-1} \varpi_M(J) \gamma_{uu}(J) \cos \frac{2\pi Jk}{N} \quad (2.185)$$

$$\hat{S}_u(k) = \Delta t \sum_{k'=-\lfloor N/2 \rfloor}^{\lfloor (N-1)/2 \rfloor} P_u(k') W_{M'}(k - k') \quad (2.186)$$

burada;

- $\hat{S}_u(k)$: Düzleştirilmiş spektrumu (evrişim - *convolution*),
- Δt : Örnekleme periyodikliğini,
- $\varpi_M(J)$: M genişliğinde J gecikmeli pencereyi,
- $\gamma_{uu}(J)$: Otokovaryans fonksiyonunun J gecikmedeki standart örnek tahminini,
- $P_u(k')$: Periyodogramı,
- $W_{M'}(k - k')$: k etrafındaki uygun aralıktaki ($M' = M^{-1}$) genişliğindeki pencere fonksiyonu ($\varpi_m(J)$ 'nin Fourier dönüşümü),
- N : Veri sayısını göstermektedir.

Eşitlik 2.185 ve Eşitlik 2.186 birebir aynı fonksiyonlar olmalarına rağmen, Eşitlik 2.185'deki çarpma yöntemi kolay olması nedeniyle tercih edilir. Evrişim (*convolution*) olarak adlandırılan Eşitlik 2.186 ise daha kullanışlı olabilir. Süreç, önce dar bir pencere

²²⁹ IACOBUCCI, Alessandra, "Spectral Analysis for Economic Time Series", No 2003-07, Documents de Travail de l'OFCE, Observatoire Francais des Conjonctures Economiques (OFCE), Kasım 2003.

genişliği seçilerek, daha sonrasında ise bu genişlik, spektral yoğunluğun değişmeden kaldığı noktaya kadar artırılarak iyi bir spektral kararlılık sağlanabilir. $\omega_m(J)$ gecikme penceresi genişletildiğinde, Fourier donüşümüyle karşılığı olan spektral pencere $W_{M'}(k)$ 'nin daralmasına neden olur; bu nedenle de bu sürece pencere kapama işlemi (*window closing*) denir. Geniş pencere kullanıldığı zaman spektrumun bazı detayları gizlenebilir; bant genişliği azaltıldııkça ise, önemli detaylar ortaya çıkarılabilir. Ayrıca, M değeri, spektrumun temel özelliklerini gösterecek kadar geniş, ancak sahte tepeler oluşturmayacak kadar da dar olmalıdır. Bu nedenle, M değerinin seçimi spektral analiz tekniğinde hassas bir özelliğe sahiptir. Doğru pencerenin seçimi, kararlılık ile doğruluk arasındaki ince denge ile sağlanabilir.

Spektral analiz için bilim insanları değişik pencere yöntemleri geliştirmişlerdir. Ekonomik zaman serilerinde en çok kullanılan pencerelerden biri Tukey penceresidir. Bu yöntemde, $S_x(f)$ spektrum fonksiyonunu, her bir frekans için tahmin etmek mümkün olmadığından, frekans bandı $0 - \frac{1}{2}$ aralığında uygun aralıklara ayırılır ve her aralık için spektrum tahmin edilmeye çalışılır. Her aralıktaki ortalama spektrumun, bu merkez frekansta (f_0) tahmin edilse bile; spektum f_0 'da en yüksek seviyeye ulaşacak ancak, $f_0 + 2\delta$ ve $f_0 - 2\delta$ aralığında da bulunacak ve spektrum bu aralığın dışında tamamıyla yok olmayacaktır. δ 'nın aralık boyu olarak tanımlandığı bu pencere, Tukey penceresi olarak adlandırılır ve bu spektral analizdeki temel pencere yaklaşımını oluřturur²³⁰.

Tukey penceresi dışında da kullanılan pek çok pencere yöntemi vardır. Ancak, genel olarak pencerelerin iki özelliği vardır. Birincisi, toplam komşu frekansların sayısını, ağırlıklı ortalama içine alan, genişliktir. Pencere, merkez frekansın iki yanında simetrik olarak oluşacaktır. Eğer, merkez frekans dışındaki frekans sayısı m ile tanımlanırsa, toplam genişlik $M = 2m + 1$ olacaktır. Pencerenin ikinci özelliği ise, şekildir. şekil, komşu frekanslara verilen ağırlık miktarına göre değişir. Daniel penceresinde tüm frekanslar eşit ağırlıkta olduğundan dikdörtgen şeklinindedir. Hamming penceresi ise, merkeze yakın frekanslara daha fazla ağırlık verirken, kenara yakın frekanslara daha az ağırlık verdiğinden kosinüs veya an eğrisi şeklinindedir.

²³⁰ HATANAKA, Michio, "A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point", Research Momerandum No 53, Princeton University, Econometric Reseach Program, Princeton, 1965.

Genellikle, pencere genişledikçe, düzgünleştirme süreci periyodogramı daha fazla düzleştirme eğilimde olacaktır. Ayrıca, pencere düzleştikçe de, düzgünleştirme süreci periyodogramı daha fazla düzleştirecektir. Kullanılan pencereye göre, ortaya çıkan güç spektrumu orijinal periyodogramdan çok daha düz olabilir. Düzgünleştirmeye, komşu iki tepe birleşerek tek bir geniş tepe oluşturabilir. Bir başka deyişle, ne kadar fazla periyodogram koordinatları düzgünleştirilirse, ortaya çıkan düzgünleştirilmiş spektral tahminle ilişkili örnekleme hatası o kadar az olur. Aslında, her frekanstaki güç tahminiyle ilişkili etkin veya eşdeğer serbestlik derecesi (*effective or equivalent degrees of freedom – EDF*) düzgünleştirme ile artar. Bununla beraber, periyodogram ne kadar düzgünleştirilirse, komşu frekansların katkısını belirlemek; önemli periyodik döngülerin boyunu veya periyodu tahmin etmek de o kadar zorlaşır.

Diğer bir pencere süreci olan, Bartlett penceresinde ise, önce zaman serisinin M gecikmeli otokorelasyon fonksiyonu (*lagged autocorrelation function – ACF*) hesaplanır. Sonra bu fonksiyonun Hızlı Fourier Dönüşümü veya periyodogram analizi yapılır. Veriye eklenmiş Fourier frekansları artık orijinal serideki gözlem sayısı olan N 'e değil, gecikmeli otokorelasyon fonksiyonundaki maksimum M 'e dayanmaktadır. Bu yöntemle, farklı M değerleri seçilerek farklı periyot setleri veriye uygulanabilir; böylece, N değeri belirlenmeye çalışılan döngü uzunluğunun tamsayı katı olmadığında, gecikmeli otokorelasyon fonksiyonu, sızıntı (*leakage*) problemini önlemenin bir yolu olabilir²³¹.

Kullanılacak pencerelerin seçimi, uygulamaya ve amaca göre değişebilir. Daniel penceresi kolay kullanım sağlamakla beraber, düzgünleştirilmiş spektrumda bozulmalara (*distortion*) neden olabilir ve asıl zaman serisinde karşılığı olmayan hayalet zirveler oluşturabilir. Tukey-Hanning penceresi bu tür yapay objeleri oluşturmaz, ancak diğer çan eğrili pencerelerde de olduğu gibi etkin serbestlik derecesini (*EDF*) belirlemek oldukça zordur²³².

²³¹ WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, s.82.

²³² GOTTMAN, John M., "Time Series Analysis: A Comprehensive Introduction for Social Sciences", Cambridge University Press, Cambridge, 1981, s.219.

Parametrik olmayan spektral tahmin yöntemi olarak da kullanılan bazı pencereler aşağıda sıralanmıştır. Burada; \mathcal{K}_j^* , j nci örneğin otokovaryansı, h bant genişliği olmak üzere²³³,

$$\text{Tukey Penceresi}^* \quad \mathcal{K}_j^* = 0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi j}{h}\right) \quad |j| \leq h$$

$$\text{Barlet Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = \begin{cases} |j| \leq h \text{ iken} & 1 - \frac{|j|}{h} \\ \text{diğer durumlarda} & 0 \end{cases}$$

$$\text{Welch Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = 1 - \left(\frac{j}{h}\right)^2 \quad |j| \leq h$$

$$\text{Hamming Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = 0,54 + 0,46 \cos\left(\frac{\pi j}{h}\right) \quad |j| \leq h$$

$$\text{Parzen Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = \begin{cases} |j| \leq \frac{h}{2} \text{ iken} & 1 - 6\left(\frac{j}{h}\right)^2 + 6\left(\frac{|j|}{h}\right)^3 \\ \frac{h}{2} \leq |j| \leq h \text{ iken} & 2\left(1 - \frac{|j|}{h}\right)^3 \\ \text{diğer durumlarda} & 0 \end{cases}$$

$$\text{Blackman Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = 0,54 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi j}{h}\right) + 0,08 \cos\left(2\frac{\pi j}{h}\right) \quad |j| \leq h$$

$$\text{Lanczos Penceresi} \quad \mathcal{K}_j^* = \sin\left(\frac{\pi j}{h}\right) / \frac{\pi j}{h} \quad |j| \leq h$$

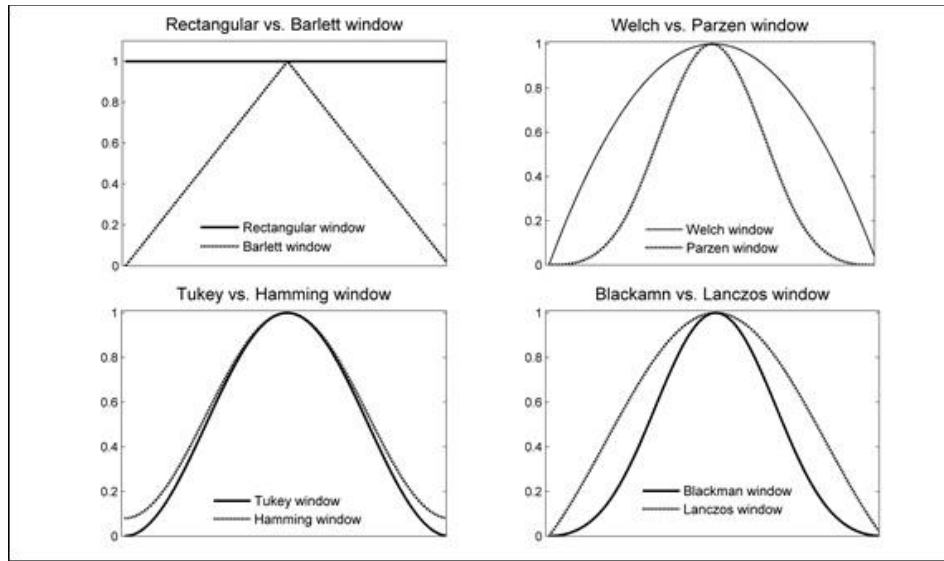
$$\text{Diktörtgen Pencere} \quad \mathcal{K}_j^* = \begin{cases} |j| \leq h \text{ iken} & 1 \\ \text{diğer durumlarda} & 0 \end{cases}$$

Periyodogram yönteminde kullanılan örnek sayısı (T), asimptotik olarak yansız olmasına rağmen çok büyük bir varyansa sahiptir. Kullanılacak pencere yöntemleri ile otokovaryans azaltılabilir ancak bu durumda yanlılık artacaktır. Yanlılığın şiddeti bant genişliğine (h) bağlıdır. h küçüldükçe, spektrumun varyansı küçülecek, ancak yanlılık artacaktır. Diğer taraftan, h büyüdükçe, spektrumun varyans büyüyecek, ancak

²³³ BĀTOROVĀ, Ivana, "Spectral Techniques for Economic Time Series", Dissertation Thesis, Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Bratislava, 2012, ss.23-25.

* Tukey Penceresi aynı zamanda Tukey-Hanning veya Blackman-Tukey Penceresi olarak da adlandırılır.

periyodogram asimptotik olarak yansız hale gelecektir. Bu durumda, h 'nin ne tür bir değer alması gerektiği söz konusudur. Diebold (2007), örnek sayısının (T 'nin) karekökü kadar olması gerektiğini belirtmiştir. Chatfield (1989) ise, $h = 2\sqrt{T}$ 'nin yeterince iyi bir sonuç vereceğini belirtmiştir. Hamilton'un (1994) konuya yaklaşımı ise, farklı bant genişlerinin denenerek en uygunun seçilmesi iken; Hannan (1970), seçimin deneyimlere dayandırılması gerektiğini belirtmiştir.



Şekil 2.44: Spektral Pencerelemin Grafik Gösterimi

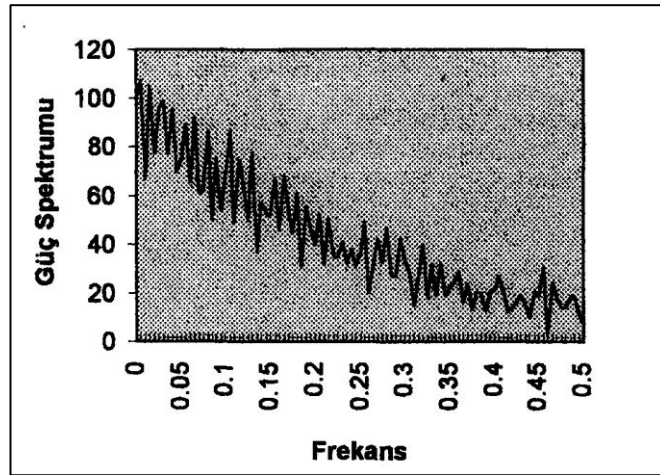
2.2.2.11. Spektral Analizin Yorumlanması

Tek bir serinin güç spektrumunun yorumlanması, tahmin edilen spektrumda düzgün bir şeklin varlığına ve olası anlamlı tepelerin yükseklik ve yatay eksenindeki pozisyonuna dayanır. Tepeler, seride oldukça sabit periyoda sahip devresel bileşenlerin varlığını göstermektedir. Kavramsal olarak düzgün şekil, devresel olmayan bileşenlerin modellerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Ekonomide spektral analiz kullanımı bu yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Sözelimi, bir yıllık bir süreyi temsil eden düşük frekanslardaki bir tepe nokta, mevsimsel dalgalanmaları temsil ettiğinden, mevsimlik hareketlerden serilerin arındırılması sürecinin etkinliği, spektruma bakılarak anlaşılmaktadır. Bunların dışındaki olası tepeler, iş hayatı veya ekonomideki konjonktür dalgalanmaları temsil etmektedir.

Eğer tahmin edilen spektrum tepelere ve açıkça bir eğriye doğru bir eğilime sahip değil ise, yani düz ise, bu serinin bir “beyaz gürültü” olduğu kabul edilir.

Korelasyonsuz okuma dizisinden oluşan serideki tüm bileşenler eşit miktarda bulunmaktadır. Bu işlem Granger ve Morgenstern (1962) ve Labys ve Granger (1970) tarafından fiyat değişimlerinin spektrumu oluşturularak, spekülative piyasalardaki fiyatların rastgele yürüyüş (*random walk*) olduğu yolundaki hipotezin testinde kullanılmıştır. Eğer gözlemlerden elde edilen spektrumun şekli düzgün değil ise, seri için bir model oluşturulabileceği ileri sürülmekle birlikte genelde pek çok modelin şekilleri birbirlerine benzediğinden spektral analizinden model tanımlama problemlerinde pek yararlanılmamıştır.

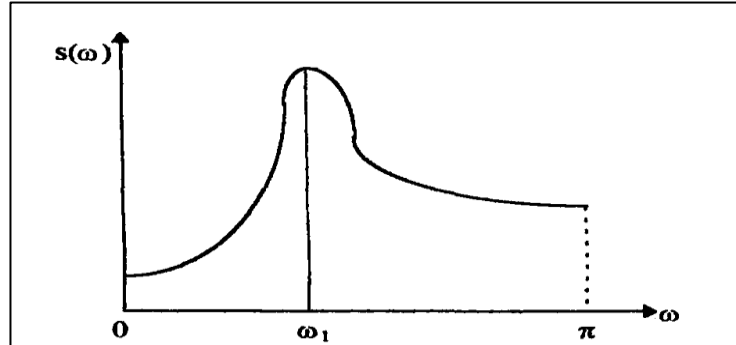
Eğer spektrum belli bir frekansta bir tepe noktası oluşturuyorsa, bu durumda zaman serilerinin bir döngüsel bileşene sahip olduğunu gösterir. Ekonomik veriler 1960’larda spektral yöntemlerle ilk analiz edildiklerinde, beklenenin tersine neredeyse tahmin edilen spektraların benzer şekillere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu şekillerin çoğunluğu düşük frekanslarda yüksek, yüksek frekanslarda ise azalan bir dağılım göstermiş, π ’ye yakın frekanslarda yerel tepe noktalar gözlenmiştir. Bu şekildeki eğriler Granger (1966) tarafından “tipik spektral şekil” (*typical spectral shape*) olarak adlandırılmıştır. Örnek bir güç spektrumu grafiği Şekil 2.45’de verilmiştir.



Şekil 2.45: Tipik Bir Güç Spektrumu

Daha önce çıkarımı gösterilen X_t serisinin spektral temsili ve λ_t kovaryans sürecinin elde edilmesinde kullanılan yöntem, bu tahminlerle ilgili bir takım ilişkileri ortaya koymuştur. Bu ilişkiler sayesinde, spektrumun $s(\omega)$ yorumlanması oldukça kolay olmaktadır. Bunun nedeni $s(\omega)d\omega$ ’nin $X_t(\omega)$ bileşeninin $(\omega, \omega+d\omega)$ frekans aralığında

X_t 'nin varyansına olan katılımına eşit olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, belirli bir frekansta, bir bileşenin toplam içindeki payıdır.



Şekil 2.46: Güç Spektral Olasılık Fonksiyonu

Eğer $s(\omega)$, Şekil 2.46'dakine benzer bir şekle sahipse, X_t serisinin düşük frekans (uzun dönem) bileşenlerinin $var(X_t)$ 'ye az katkıda buldukları için önemsiz, ω_1 frekansı civarındaki frekanslara sahip bileşenlerin ise çok önemli oldukları söylenir. Benzer şekilde kısa dönem bileşenler, diğer bir ifade ile yüksek frekans bileşenleri orta derece önemlidir. Teorik çalışmalardan da hatırlanacağı üzere $(0, \pi)$ frekans aralığında $s(\omega)$ eğrisinin altında kalan alan X_t serisinin varyansının yarısına eşittir.

$$s(\omega) = \frac{\lambda_0}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{\tau \geq 1} \lambda_{\tau} \cos \tau \omega, \quad \lambda_{\tau} = \lambda_{-\tau} \quad (2.187)$$

Konunun daha iyi anlaşılması için en basit durağan seri olan sıfır ortalamaya sahip “beyaz gürültü”, diğer bir ifadeyle $X_t = \varepsilon_t$ ele alınacaktır. Tamamen rastgele olan X_t serisinin otokovaryansları $\lambda_{\tau} = 0, \tau \neq 0$ olacağından Eşitlik 2.187'ye göre ilgili spektrum bütün frekans aralığında sabit $s(\omega) = \sigma_{\varepsilon}^2 / 2\pi$ olarak tahmin edilecektir. Serilerin varyansına katkılarına göre ölçüldüğünde; “beyaz gürültü”nün, hepsi eşit öneme sahip bütün frekansların sahip olduğu bileşenlerden meydana geldiği ortaya konmuş olur. Tamamen rastgele bir süreç için “beyaz gürültü” terimi, bütün frekansları eşit olarak içeren beyaz renginin spektral yapısına benzetilerek literatüre katılmıştır.

2.2.3. Durağan Olmayan Zaman Serilerinin Spektral Tahmin Yöntemleri

Serinin boyu sonlu ve durağanlık şartları stokastik süreç tarafından sağlanmadığı zaman, bu şartlardaki ekonomik çalışmalar yalancı spektrum (*pseudospectrum*) olarak tanımlanır ve konuyla ilgili yapılan ilk çalışmalarda aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;

$$S_x(f) \equiv \frac{2}{N} E \left\{ \left(\sum_{t=1}^N x_t \cos 2\pi f t \right)^2 + \left(\sum_{t=1}^N x_t \sin 2\pi f t \right)^2 \right\}$$

Burada, $S_x(f)df$ değişen varyansın ortalamasının kısmıdır ve $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N E(x_t^2)$, df sonsuz küçük aralıklar için hesaplamaya dâhil edilir. Yalancı spektrum, spektrumun temel özelliklerini sağlamakla beraber pek çok değişik şeklide oluşabilir. Birinci durum, ortalamanın değiştiği, yani seride bir trendin olduğu durumlarda, spektrum sadece alçak frekanslarda yüksek değerlere sahip olacaktır. İkinci durum ise, varyansın sabit olmadığı hallerdir. Üçüncü durum ise, değişik frekanslardaki faz açısının zamanla değişmesidir; bu durum genellikle çapraz spektral analiz ile ilgilidir. Diğer bir durum ise, tüm parametrelerin zamanla değişebildiği dinamik ekonometrik modeldir. Ancak, sahte spektrumun geçerli olabilmesi için sabit veya trend bileşenlerin, döngüsel bileşenlere göre baskın olması gereklidir. Eğer döngüsel bileşenler hâkim ise, sahte spektrum kullanılmamalıdır²³⁴.

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, ekonomik zaman serileri genellikle durağan değillerdir; ancak spektral analiz tekniği ile inceleyebilmek için bu zaman serilerinin durağan hale getirilmesi gereklidir. Bu bölümde, ekonomik zaman serilerinin durağan hale getirilip analiz edilebilmesi anlatılacaktır.

2.2.3.1. Ortalamasında Trend Olan Seriler

Ekonomilerin sürekli büyüdüğü bir dünya üzerinde yaşanmaktadır. Nüfusun artması, ekonomilerin gelişmesindeki temel etkidir. Diğer etkenler ise; yaşam kalitesinin artması, kazançların artmasına neden olan teknolojik gelişmeler ve sonuç olarak da bunların büyümeyi daha da hızlandırmasıdır. Tüm bu faktörlerin etkisindeki

²³⁴ HATANAKA, Michio, "A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point", Research Momerandum No 53, Princeton University, Econometric Reseach Program, Princeton, 1965.

ekonomik veriler dolayısıyla bir trende sahiptirler. Bu nedenle de, eğer ekonomik verilerle ilgili tahmin yapılması gerektiğinde, trendin bu verilerden ayrıştırılması gerekir. Bu aşamada, seriler kendi içinde ikiye ayrılırlar: (i) Ortalamasında doğrusal trend olan seriler, (ii) Varyansında trend olan seriler. Burada, her iki alt başlık, tek bir fonksiyon olarak değerlendirilecektir.

Ortalamasında trend olan serileri aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$Y_t = m(t) + X_t \quad (2.188)$$

Burada;

X_t: durağan seriyi,

$m(t)$: trendi göstermektedir.

Yapılacak analizin amaçları sırasıyla; trendin varlığının, spektral ve çapraz spektral analiz üzerindeki etkisini bulmak, trendin tahmin edilmesi ve seriden uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Eşitlik 2.188, $E[X_t] = 0$ ve $E[Y_t] = m(t)$ varsayılarak, Y_t 'den $\{y_t, t = 1, \dots, n\}$ örneğiyle;

$$\sigma_y^2 = E[s_y^2] = \underbrace{\frac{1}{n} \sum m^2(t) - \frac{1}{n^2} \left[\sum m(t) \right]^2}_{V(m) - \text{trendin varyansı}} + \sigma_x^2 \quad (2.189)$$

Böylece, Y_t sürecinin varyansı, trendle bağlı ve durağan süreç X_t 'den dolayı oluşan bileşenlerine ayrılır. $V(m)$ ise, alınan örnekle sınırlı kalmak üzere, trendin varyansı olarak adlandırılır. Trendin, monoton olarak artması veya periyodik olmaması, diğer bir anlatımla sonsuz periyoda sahip olması, $m(t)$ 'nin Fourier dönüşümünün tek bir frekansa sahip olmasını ve bu frekansın da sıfır veya sıfıra yakın bir frekansa sahip olmasına neden olur. Ancak, burada alınan örneğin uzunluğu nedeniyle, tahmin edilen trend ile gerçek trend arasında farklılık olabilir. Ayrıca, alınan örnekte trend olarak belirlenen hareket, aslında çok uzun bir dalganın, diğer bir anlatımla çok düşük bir frekansın, parçası da olabilir. Bu nedenle, trend ile çok düşük frekanslı salınımlar birbirine karışabilir, bu frekanslar arasında sızıntı (*leakage*) olabilir. Burada, n sayıdaki örnekte $\frac{1}{2n}$ 'den küçük olan frekansları trend olarak değerlendirmek uygulamada fayda sağlayacaktır.

Trendin tahmini ve ayrıştırılması için, genellikle, hareketli ortalamalar (*moving average*), polinom regresyonu, harmonik regresyonu ve filtreler kullanılır. Hangi yöntemin kullanılacağı, veri sayısına ve daha sonrasında yapılmak istenen analizin çeşidine göre değişebilir. Trendin tahmini için, basit hareketli ortalamalar yöntemi kullanışlıdır. n sayıda veri olduğunda, 40 ile $\frac{n}{10}$ arasındaki uzunlukta bir hareketli ortalama değeri kullanılabilir. Eğer, yıllık bileşen, aylık veri içinde yeterince büyükse, 12 uzunluğundaki ikinci basit hareketli ortalama kullanılmalıdır. Son düzgünleştirme için ise 3 veya 5 uzunluğunda bir hareketli ortalama uygun olacaktır.

Trendi uzaklaştırmak için ise, orta uzunluktaki veriler için ($n \leq 400$), polinom regresyonu yeterince etkin olabilecektir. Polinom regresyonunda, $m(t)$ aşağıdaki eşitlikte verilen polinom ile tahmin edilir;

$$p(t) = \sum_{j=0}^k \alpha_j t^j, \quad t = 1, \dots, n \quad (2.190)$$

Burada, α_j sabiti, $I = \sum_{j=0}^k [m(t) - p(t)]^2$ eşitliği en küçük değerini alacak şekilde seçilir.

Büyük sayıdaki veriler için ise ($n \geq 1000$), daha kolay ve iyi bir yöntem, trendin filtreler yardımıyla tahmin edilip uzaklaştırılmasıdır. Bununla beraber, trendden dolayı oluşan varyans ile kalan kısmın varyansı arasındaki oran büyük ise ($> \frac{15}{1}$), filtreler kullanılmamalıdır. Filtreler ile ilgili bilgi daha önceki bölümlerde verilmiştir. Burada ise, filtreler yardımıyla, trendin nasıl tahmin edileceğini ve bunun için de sifıra yakın frekanslar dışındaki frekansların, filtreler yardımıyla nasıl çıkarılacağı incelenecektir. Bunun için kosinüs filtresi kullanılırsa;

$$s(\omega) = a_0 + 2 \sum_{j=1}^m a_j \cos j\omega \quad (2.191)$$

Burada;

$$a_0 = \frac{\omega_0}{\pi} \text{ ve } a_j = \frac{2 \sin j\omega_0}{j\pi}, \quad j = 1, \dots, m \quad (2.192)$$

Çok uzun döngüler incelendiğinde ise, harmonik regresyon daha uygun bir yöntem olacaktır.

$$T(t) = \sum_{j=0}^k \left(a_j \cos\left(\frac{\pi jt}{n}\right) + b_j \sin\left(\frac{\pi jt}{n}\right) \right), \quad t = 1, \dots, n \quad (2.193)$$

Burada da, polinom regresyondaki gibi, a_j ve b_j sabitleri, $I' = \sum_{t=1}^k [m(t) - T(t)]^2$ eşitliği en küçük değerini alacak şekilde seçilirler.

Çok büyük sayıdaki verilerle çalışıldığında ise, sinüs filtreleri hesaplamalarda kolaylık sağlayacaktır. Ancak, sinüs filtreleri kullanıldıktan sonra, spektral analiz veya çapraz spektral analiz tekniği kullanılmalıdır.

Regresyon analizi ile ilgili detaylı bilgiler, Hannan'ın *Time Series Analysis* ve Grenander ve Rosenblatt'ın *Statistical Analysis of Stationary Time Series* adlı kitaplarında bulunabilir.

2.2.3.2. Spektrumu Zamanla Değişen Seriler

Ekonominin sürekli gelişmesi yanında, temeli ve yapısı da sürekli değişmektedir. Daha evvelki bölümlerde incelendiği gibi, ürünlerin, endüstrilerin birer hayat eğrileri vardır. Ekonomik zaman serilerinin, durağan olması beklenen bir durum değildir. Hayat eğrileri yanında, savaşlar, doğal afetler, krizler, hatta grevler gibi beklenmeyen ve istenmeyen olaylar da ekonomik verilerde değişikliklere neden olurlar. Ayrıca, çoğu ekonomik zaman serileri sadece ortalaması zamanla değişen seriler olmayıp, aynı zamanda varyansı ve otokovaryansı da zamanla değişen serilerdir. Spektral analiz yaklaşımı açısından, seriler, genlikleri zamanla değişen frekans bantlarının toplamı olarak düşünülebilirler. Ancak, spektral analizin öncelikli koşulu, zaman serilerinin durağan olması olduğu için, spektrumu zamanla değişen serilerin ekonometrik modellerini oluşturmak amacıyla bazı yöntemler geliştirmek gereklidir. Daha önceki bölümde anlatılan kara kutu yöntemi, bu tür serileri incelemek için kullanışlı bir yöntemdir.

$\{Y_t\}$ 'nin durağan olmayan bir seri olması durumunda ise;

$$Y_t = X_t(t) \quad (2.194)$$

$$E[Y_t Y_{t-\tau}] = C \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} a(t, \omega) \overline{a(t-\tau, \omega)} d\omega \quad (2.195)$$

olup, zamanın bir fonksiyonudur. Eşitlik 2.194 ve $X_t(t)$ 'nin durağanlık koşullarını kullanarak;

$$Y_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} a(t, \omega) dz(\omega) \quad (2.196)$$

burada $a(t, \omega)$ zamanla değişiyorsa, $\{Y_t\}$ de ortalaması zamanla değişen rastgele genlik ve fazlı frekans bantlarından oluşmaktadır.

Spektrumu zamanla değişen serilerin bazı özel durumları mevcuttur, bu durumlar sırasıyla, patlayan otoregresif şema (*exploding autoregressive scheme*), zaman-trend katsayılı otoregresif şema (*autoregressive scheme with time-trending coefficients*), çarpımsal trend (*multiplicative trend*) ve yıllık bileşen trendidir (*trend in annual component*).

Çapraz spektral analiz bakımından ise, $\{X_t(k)\}$ ve $\{X'_t(k)\}$, girişi ε_t olan kara kutunun ürettiği durağan seriler olmak üzere;

$$\begin{aligned} X_t(k) &= \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} a(k, \omega) dz(\omega) \\ X'_t(k) &= \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} a'(k, \omega) dz(\omega) \end{aligned} \quad (2.197)$$

$\{X_t(k)\}$ ve $\{X'_t(k)\}$ arasındaki uyum (*coherence*) $C(k, \omega)$ ve faz (*phase*) $\varphi(k, \omega)$ olmak üzere;

$$a(k, \omega) \overline{a'(k, \omega)} = r(k, \omega) e^{i\varphi(k, \omega)}, \quad \omega > 0 \quad (2.198)$$

burada,

$$r^2(k, \omega) = C(k, \omega) f_x(k, \omega) f_{x'}(t, \omega) \quad (2.199)$$

ve $Y_t = X_t(t)$ ve $Y'_t = X'_t(t)$ olmak üzere, $\{Y_t\}$ ve $\{Y'_t\}$, durağan olmayan ve ayrıca aralarındaki ilişki de zamanla değişen seriler olmak üzere; aralarındaki ilişki çapraz spektral analizle incelenirse,

$$\begin{aligned} E[Y_t Y'_{t-\tau}] &\cong \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\tau\omega} a(t, \omega) \overline{a'(t, \omega)} d\omega \\ &= 2 \int_0^{\pi} \cos\tau\omega r(t, \omega) \cos\varphi(t, \omega) d\omega - 2 \int_0^{\pi} \sin\tau\omega r(t, \omega) \sin\varphi(t, \omega) d\omega \end{aligned}$$

Ve böylece, $\{Y_t\}$ ve $\{Y'_t\}$ arasındaki eşspektrum $c(t, \omega)$ ve dördün spektrum $q(t, \omega)$;

$$\begin{aligned} c(t, \omega) &\cong r(t, \omega) \cos\varphi(t, \omega) \\ q(t, \omega) &\cong r(t, \omega) \sin\varphi(t, \omega) \end{aligned} \quad (2.200)$$

Ayrıca, yığınlardan alınan örnekler, $\{y_t, t = 1, \dots, n\}$, $\{y'_t, t = 1, \dots, n\}$ ise, eşspektrumu ve dördün spektrumun tahminleri;

$$\begin{aligned} \overline{c(\omega, n)} &\cong \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n c(\omega, t) \\ \overline{q(\omega, n)} &\cong \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n q(\omega, t) \end{aligned} \quad (2.201)$$

ve buradan da uyum ve faz değerlerinin tahminlerini aşağıdaki eşitliklerle tahmin edilebilir;

$$\begin{aligned} \overline{C(\omega, n)} &\cong \frac{[\sum c(\omega, t)]^2 + [\sum q(\omega, t)]^2}{[\sum f_x(\omega, t)][\sum f_{x'}(\omega, t)]} \\ &= \frac{[\sum r(t, \omega) \cos\varphi(t, \omega)]^2 + [\sum r(t, \omega) \sin\varphi(t, \omega)]^2}{[\sum f_x(\omega, t)][\sum f_{x'}(\omega, t)]} \end{aligned} \quad (2.202)$$

$$\overline{\psi(\omega, n)} \cong \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum r(t, \omega) \sin\varphi(t, \omega)}{\sum r(t, \omega) \cos\varphi(t, \omega)} \right\} \quad (2.203)$$

2.2.3.3. Demodülasyon

Eğer gerçek, durağan süreç $\{X_t\}$, karmaşık rastgele $A(t)$ fonksiyonu ile çarpılıp, bütün sıfır frekansları çıkaran (F) filtresi yeni seriye uygulanırsa, yani;

$$X_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} dz(\omega)$$

$$A(t) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} d\alpha(\omega)$$

olmak üzere, Z_t sonuç karmaşık fonksiyon olmak üzere;

$$Z_t = F[X_t A(t)] = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dz(\omega) d\alpha(\lambda)$$

$$= \int_{-2\pi}^{2\pi} dz(\omega) d\alpha(-\omega)$$
(2.204)

burada; $\omega + \lambda = 0$ 'dır.

Şimdi iki özel durum için bu eşitlik incelenirse;

i. Eğer,

$$d\alpha(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \neq \omega_0 \\ 1 & \omega = \omega_0 \end{cases}$$

ise, yukarıdaki eşitlikler;

$$A(t) = e^{it\omega_0}$$

$$Z_t = dz(\omega_0)$$

böylece, $E[Z_t]$ 'nin modül ve açı değerleri, bize, ω_0 frekansının t anındaki genlik ve faz değerlerini verecektir. Durağan seriler için, frekansın genlik ve fazı zamanla değişmez iken, durağan olmayan seriler için şu şekilde gösterilebilir;

$$Y_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\omega} a(t, \omega) dz(\omega)$$

ve yukarıdaki süreç buraya da uygulanırsa,

$$Z_t \cong a(t, \omega_0) dz(\omega_0)$$

ii. Eğer,

$$\begin{aligned} d\alpha(\varpi) &= \frac{1}{2\delta} & c - \delta \leq \varpi \leq c + \delta \\ d\alpha(\varpi) &= 0 & \text{dışında} \end{aligned}$$

ise,

$$Z_t = \frac{1}{2\delta} \int_{c-\delta}^{c+\delta} dz(\varpi)$$

böylece, $E[Z_t]$ 'nin modül ve açı değerleri, $c - \delta, c + \delta$ frekans bandının ortalama genlik ve faz değerlerini verecektir. Bu durumda,

$$A(t) = \frac{\sin\delta t}{\delta t} [\cos ct + i \sin ct]$$

burada, ilk durumda olduğu gibi, $\delta \rightarrow 0, A(t) \rightarrow e^{ict}$ olacaktır.

Bu teori, belli bir frekansın veya belli bir frekans bandının genlik ve fazına verilen bir t anında bakmanın yöntemini göstermektedir. Eğer, $\{x_t, t = 1, \dots, N\}$ örnek serisini, $\sin \varpi_0 t, \cos \varpi_0 t$ ile çarparak, $x'_t = x_t \sin \varpi_0 t, x''_t = x_t \cos \varpi_0 t$ eşitlikleri elde edilir; bu eşitliklere F alçak geçiren (alçak frekansları geçiren) filtre uygulanırsa; $z'_t = F(x_t \sin \varpi_0 t)$ ve $z''_t = F(x_t \cos \varpi_0 t)$ eşitlikleri elde edilir. Buradan, t anında, ϖ_0 frekansında tahmin edilen genlik ve faz şu eşitliklerle hesaplanır;

$$\text{Tahmin Edilen Genlik} = 2[(z'_t)^2 + (z''_t)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Tahmin Edilen Faz} = \tan^{-1} \frac{z'_t}{z''_t}$$

Anlık spektrum (*instantaneous spectrum*) ise aşağıda verilen Eşitlik 2.205 ile verilir;

$$R_t^2 = 2[(z'_t)^2 + (z''_t)^2] \quad (2.205)$$

Şimdi, tüm verilere dayanarak, $2m+1$ uzunluğunda bir filtrenin kullanıldığını varsayarak, ϖ_0 frekansındaki spektrumun tahmini ise şu eşitlikle verilebilir;

$$R^2 = \frac{2}{n-2m} \sum_{t=m}^{n-m} R_t^2$$

Serileri, önce bir fonksiyon ile çarpan, sonra da bir filtre uygulayan yöntemle demodülasyon ismi verilir.

Eğer, aylık olarak verilen serilerdeki yıllık bileşenlerin, genlik ve fazına ayrı ayrı bakmaktan ziyade, gerçekte nasıl değiştiğini incelemek için, veri tekrar modüle edilebilir. Bunun için, önce z'_t ve z''_t oluşturulur ve Eşitlik 2.206 aşağıdaki şekilde yazılır;

$$\eta_t = 2z'_t \sin t\omega_0 + 2z''_t \cos t\omega_0 \quad (2.206)$$

Burada, η_t , asıl x_t verisine, ω_0 'a yakın tüm frekanslardaki herşeyi uzaklaştıran bir filtre ile benzeşmektedir. Demodülasyon ve tekrar modülasyon teknikleri kullanıldığında, her bir ω_0 frekansı için özel bir filtre tasarlanması gerekmediği gibi, bu teknik yardımıyla frekans bandının ortalama genliğine ve fazına dair de bilgi elde edilecektir..

Demodülasyon ve tekrar modülasyon tekniği, seriler, genliği zamanla değişen önemli bir yıllık bileşen içerdikleri zaman kullanılabilir. Eğer seriler on iki aylık, altı aylık ve hatta üç aylık olarak tekrar modüle edilirlerse ve bunlar asıl serilerden çıkartıldıklarında, yıllık bileşen büyük oranda seriden uzaklaştırılmış olacaktır. Uzaklaştırılmış parçaların toplamı, herhangi bir yıl için yıllık bileşenin gerçek şeklini verecektir.

Yukarıdaki anlık spektruma benzer olarak, anlık çapraz spektrumu (*instantaneous cross-spectrum*) da elde edebiliriz. Eğer, $\{y_t, t = 1, \dots, n\}$, $\{y'_t, t = 1, \dots, n\}$, durağan olamayan iki süreçten alınan örnekler ise, eğer $F[y_t]$ sifıra yakın frekansları geçiren filtre ise, t anında ω_0 frekansındaki genliğin tahmini;

$$R_t^2 = F[y_t \sin \omega_0 t]^2 + F[y_t \cos \omega_0 t]^2 = |F[y_t e^{i\omega_0 t}]|^2$$

ve fazın tahmini;

$$\varphi_t = \tan^{-1} \left(\frac{F[y_t \sin \omega_0 t]}{F[y_t \cos \omega_0 t]} \right)$$

diğer bir gösterimle;

$$F[y_t e^{i\omega_0 t}] = R_t e^{i\varphi_t} \quad ve \quad F[y'_t e^{i\omega_0 t}] = R'_t e^{i\varphi'_t}$$

olduğunda, anlık çapraz spektrum;

$$\begin{aligned} V_t &= F[y_t e^{i\omega_0 t}] F[y'_t e^{-i\omega_0 t}] \\ &= R_t R'_t e^{i(\varphi_t - \varphi'_t)} \end{aligned} \quad (2.207)$$

anlık uyum (*instantaneous coherence*);

$$\frac{|V_t|^2}{R_t^2 R_t'^2} \equiv 1 \quad (2.208)$$

anlık faz farkı da;

$$\varphi_t - \varphi'_t \quad (2.209)$$

olacaktır.

Düzgün bir şekilde değışen durağansızlığın olduğı varsayımıyla, anlık uyum (*instantaneous coherence*) kabaca tahmin edilebilir. Eğer, t anındaki uyum incelenmek istenirse, uyumlu hale gelen fonksiyonların ortalamalarını oluşturarak;

$$\bar{V}_t = \frac{1}{2m+1} \sum_{j=-m}^m F[y_{t-j} e^{i\omega_0(t-j)}] F[y'_{t-j} e^{-i\omega_0(t-j)}] \quad (2.210)$$

$$\bar{R}_t^2 = \left| \frac{1}{2m+1} \sum_{j=-m}^m F[y_{t-j} e^{i\omega_0(t-j)}] \right|^2 \quad (2.211)$$

$\bar{R}_t'^2$ da benzer olarak hesaplanır. Anlık uyumun kabaca tahmini ise;

$$\bar{C}(t, \omega) = \frac{|\bar{V}_t|^2}{\bar{R}_t^2 \bar{R}_t'^2} \quad (2.212)$$

ve, ω frekansında ve t anında, seriler arasındaki faz farkının alternatif tahmini \bar{V}_t 'nin açısıdır. Diğer bir deyişle, \bar{V}_t 'nin sanal kısmının, gerçek kısmına bölmünün arktanjanıdır. Zamanla değişen iki serinin arasındaki ilişkiyi bu yöntemle teorik olarak analiz etmek ve tahminde bulunmak mümkündür.

2.2.4. Modern Spektral Analiz

Spektral analiz tekniği önsel bir modellemeye ihtiyaç duymadığı için, bu tekniği kullanan araştırmacıların, verileri genellikle tümevarımsal davranış içinde incelemeleri gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, spektral analiz, durağan zaman serileri için geçerli olmasına rağmen, ekonomik zaman serilerinin genellikle durağan olmaları beklenmediği için, verilerin analiz edilebilecek bir şekle getirilmesi gerekmektedir. Daha önceki bölümde, bu amaçla geliştirilen bazı klâsik yöntemler incelenmişti. Bu bölümde ise, durağan olmayan zaman serilerini incelemek için geliştirilen modern yöntemler incelenecektir.

Spektral ayrışım (*spectral decomposition*) ve zaman serisi olarak yeniden yapılanma (*time series reconstruction*), zaman serilerin ana salınımlı bileşenin hassas nicel ve biçimsel tanımını sağlar; ve böylece, trendler, düşük frekanslı bileşenler, konjonktür döngüler, mevsimsellikler daha düzgün olarak belirlenebilir. Spektral analizde geliştirilen yeni tekniklerle, kısa gürültü veriler, durağan olmayan süreçler, periyodik olmayan bileşenler bile artık incelenebilmektedir. Diğer bir anlatımla, klâsik spektral analiz, zaman serileri analizine göre araştırmacılara ne kadar bir fayda getirdiyse; modern spektral analizin de klâsik spektral analize göre o oranda bir fayda getirdiği söylenebilir.

Temelinde periyodogram analizini kullanan spektral teknikler kullanıldığında oluşan sızıntılar, tahmin edilen varyansın sistematik bozulmalara ve benzeri problemlere neden olurlar ve dolayısıyla tahminlerde tutarsızlık meydana getirirler. Blackman-Tukey (BT) yöntemi gibi geliştirilen pek çok pencere ve filtre yöntemleriyle, bu tutarsızlıklar azaltılmaya çalışılmakla beraber, serilerin bazı özellikleri kaybolmaktadır.

Klâsik spektral analiz tekniğinin bazı dezavantajlarını şu şekilde sıralanabilir:

- i. Durağan olmayan seriler, durağan hale getirildiklerinde özellikle çok uzun döngülü verilerde kayıp olabilmektedir.

- ii. Yarı-dönemsel sinyaller ile düzensiz sinyalleri birbirinden ayırmak zor olmaktadır.
- iii. Alçak boyutlu ve yüksek boyutlu düzensiz sinyalleri birbirinden ayırmak olasılığı düşüktür.
- iv. Asıl sinyaldeki veriler genellikle kaybolmaktadır.
- v. Trend ve benzeri uzun döngülü (düşük frekanslı) bileşenler, sahte spektrum oluşturabilmektedir.
- vi. Frekans bantları arasındaki sızıntı, analizin hatalı yapılmasına neden olmaktadır.
- vii. Ayırıştırılmış verilerden tekrar zaman serilerini oluşturulduğunda, özgün seriden çok farklı seriler elde edilebilmektedir.

2.2.4.1. Tekil Spektral Analiz (Singular Spectral Analysis – SSA)

Klâsik spektral yöntemler, birinci ve ikinci momentleri zamanla değişmeyen yani durağan seriler için geçerli iken, bazı modern spektral analiz yöntemleri durağan olmayan zaman serilerini analiz etmede kullanılabilirler. Bu yöntemlerden, Tekil Spektral Analiz (*Singular Spectral Analysis – SSA*) belirli özellikleri olmayan kısa, gürültülü ve kaotik zaman serilerinin spektral ayrışımını sağlayan yenilikçi, esnek ve veriye uyarlanabilir bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Ekonomik zaman serilerinde, kaosa dair bir kanıt henüz bulunmamasına rağmen, Broomhead ve King (1986) SSA'ın hafif doğrusal olmayan zaman serilerinin analizinde çok etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir²³⁵. Ayrıca, SSA farklı zaman ölçeklerinde de verimli sonuçlar verdiği için, araştırmacılar serileri farklı çözünürlüklerde inceleyebilirler. Böylece de, ekonometride, spektral analizin daha yaygın uygulaması ile serilerin zaman düzlemindeki analizi hem güçlendirilebilir hem de iyileştirilebilir²³⁶. SSA yönteminin dezavantajları ise, değişik tipteki gürültü süreçlerine test yöntemlerini uygulayan Monte-Carlo Benzetimi (*Monte-Carlo Simulation*) yardımı ile giderilebilir.

SSA tamamıyla parametrik olmayan ve kısa, gürültülü ve karmaşık zaman serileri için oldukça uygundur. Ampirik Ortogonal Fonksiyonlar (*Empirical Orthogonal*

²³⁵ NEFTÇİ, Salih N., “Are Economic Time Series Asymmetric Over the Business Cycle?”, *Journal of Political Economy*, Cilt 92, 1984, ss.307-328.

²³⁶ SELLA, Lisa, “Old and New Spectral Techniques for Economic Time Series”, Working Paper No. 09/2008, Università di Torino, Dipartimento di Economia “S. Cogneetti de Martiis”, Torino, Mayıs 2008.

Functions – EOFs) analizi ile ilişkili, bir frekans düzlemi analiz yöntemi olan SSA'nın, Fourier yöntemine göre temel üstünlüğü, hem genlik hem de faz modülasyonuna sahip salınımları belirleyebilmesidir²³⁷. Böylece, asıl sinyal artık periyodik sinüs ve kosinüs fonksiyonları yerine, sabit olmayan genlik ve fazı gösteren veriye uyumlu dalgalara ayrıştırılmaktadır. SSA, yığın hakkında fazla bilgiye sahip olmadığımız ve sahip olduğumuz kısa zaman serileri şeklindeki örnek veriden de geleneksel yöntemlerle tahminlerin yapılamadığı durumlarda, oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber, SSA, bir model oluşturmak için değil, zaman serilerinin deterministik ve stokastik bölümlerini belirlemek için tasarlanmıştır. SSA, özellikle, kısa süreli sistemin gelişimini tahmin ederek, sistemin uzun süreli özelliklerini elde eder ve rastgelelik derecesi (*degree of randomness*) gibi sistemin kendine özgü özelliklerini belirler²³⁸.

SSA'nın konjonktür dalgaları tespit etmesi özelliği yanında, filtreleme özelliği de ekonomik verilerin analizinde fayda sağlamaktadır. Thomakos, Wang ve Wille (2002), SSA tekniğini günlük gerçekleştirilen vadeli işlemlere uygulamış ve volatilitiyi, ekonomik bakımdan anlamlı bileşenlere ayırarak, S&P500 ve Eurodolar serilerinde trend ve belirgin döngüleri tespit etmiştir.

SSA'nın teknik incelemesine de kısaca değinirsek; SSA'nın esas amacı, hem tek değişkenli, hem de çok değişkenli doğrusal olmayan dinamiklerin analizinde, temiz ve net sinyalin tespit edilerek gürültüden ayrıştırılmasıdır. SSA, tanım olarak, zaman serileri gecikme-kovaryans matrisinin (*lag-covariance matrix*) dikey ayrışmasıdır (*orthogonal decomposition*). Diğer bir anlatımla, zaman serisi gecikme koordinatlarının, temel bileşenlerinin vektör uzay üzerindeki projeksiyonu veya tahminidir. Sinyaldeki periyodik ve yarı-periyodik aktiviteyi belirlemek için ise özdeğerler spektrumu (*eigenvalue spectrum*) kullanılmaktadır²³⁹. Özdeğerler spektrumu, zaman serisinin, karşılık gelen güven aralıklarına göre sıralanmış özdeğerleri çizimidir. Bu durumda, faz dördünündeki bir özdeğerler çifti, bir salınım hareketiyle ilişkili olabilir²⁴⁰. Her bir özvektor, toplam varyansın ilişkili bileşen tarafından açıklanan kısmını temsil eder; eğer

²³⁷ ALLEN, Myles R.; SMITH, Leonard A., "Monte Carlo SSA: Detecting Irregular Oscillations in the Presence of Colored Noise", *Journal of Climate*, Cilt 9, Sayı 12, 1996, ss.3373-3404.

²³⁸ GERSHENFELD, Neil; WEIGENG, Andreas S., "The Future of Time Series", *Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past*, derl: A. S. Weigend, N. A. Greshengeld, Addison-Wesley, Reading, 1993, ss.1-70.

²³⁹ VAUTARD, Robert; GHIL, Michael, "Singular Spectrum Analysis in Nonlinear Dynamics, with Applications to Paleoclimatic Time Series", *Physica D*, Cilt 35, Sayı 3, Mayıs 1989, ss.395-424.

²⁴⁰ GHIL, Michael; MO, Kingse, "Interseasonal Oscillations in the Global Atmosphere. Part I: Northern Hemisphere and Tropics", *Journal of the Atmospheric Sciences*, Cilt 48, Sayı 5, Mart 1991, ss.752-779.

iki bileşen yaklaşık olarak aynı varyansı açıklıyorlarsa ve eğer onların modları faz dördünde ise, bu iki bileşen, birlikte salınım yapan bir çifti temsil edebilir. Böylece, bazı ilave yöntemlerle de, yavaş hareket eden modlar tespit edilebilir. Bu modlar, trendlerden veya arka plan gürültülerden veya ilgi duyulmayan süreçlerden kaynaklanan düzenli veya düzensiz salınımlar olabilirler. Böylece, asıl serileri basit sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına çeviren klâsik Fourier analizine göre, düzensiz modüle edilmiş veya durağan olmayan sinyallerin bile incelenebileceği, daha avantajlı bir tekniğe sahip olunur. SSA'nın MEM'e göre avantajı ise; SSA'nın, vektör uzay üzerinde ayrıştırılmış her sinyalin, arka plan gürültüsüne rağmen, zaman düzleminde tekrar oluşturulmasını kolaylıkla sağlamasıdır.

SSA ile ilgili daha teknik bilgi vermek gerekirse; genellikle, pencere karakteristikleri farklılaşan iki SSA algoritması kullanılmaktadır. Burada anlatılan algoritma, Broomhead ve King (1986) tarafından geliştirilen algoritmadır. Bu algoritmaya göre, eğer m genişliğindeki kayan bir pencereyi N_T uzunluğundaki bir zaman serisine uygularsak, \mathfrak{R}''' gömülü uzayında $N = N_t - m + 1$ vektörler dizisini elde ederiz $\{x_i \in \mathfrak{R}''' | i = 1, 2, \dots, N\}$, bu tüm m -elemanlarının desendir²⁴¹. Daha sonra, $X: \mathfrak{R}''' \rightarrow \mathfrak{R}^N$ doğrusal planı tanımlanırsa, yörünge matrisi şu şekilde gösterilir;

$$X = N^{-1/2} \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_N \end{bmatrix} \quad (2.213)$$

SSA ile analiz yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı özellikler vardır. Bunlar;

- i. Boyutluluk ve Temel Bileşenler Analizi (*Dimensionality and Principal Components Analysis*): SSA'daki önemli konulardan biri, kaotik sistemle stokastik sistem arasındaki ayrımı gösteren, önemli bir güç içeren etkin modları gösteren serbestlik derecesi sayısını belirleyen, boyutluluk kavramıdır. Ekonomik sistemlerde, deterministik kaos ve arka plan gürültülerin kanıtlanması zordur; fakat, serilere etkileri önemli olduğu için, boyutluluğun yönetimi, sistem dinamiklerinin belirlenmesi aşamasında çok önemlidir.

²⁴¹ BROOMHEAD, David S.; KING, Gregory P., "Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data", Physica D, Cilt 20, Sayı 2, Haziran-Temmuz 1986, ss.217-236.

- ii. Gürültü Azaltma Stratejileri: Klâsik spektral analizde gürültünün sakıncaları hatırlanırsa, SSA, serilerin istatistiksel boyutu ile ilgili etkin gürültü azaltma teknikleri sunmaktadır. Gürültüden arındırılmış seriler, özdeğer spektrumunun (*eigenvalue spectrum*) gürültü kuyruğuna ait bütün gürültü bileşenlerini ihmal ederek, zaman düzleminde tekrar oluşturulabilir. Böylece, gürültü nedeniyle oluşan pek çok problem ortadan kaldırılarak, etkin bir spektral analiz yapılabilir.
- SSA, gürültüyü azaltırken veya gürültüyü seriden çıkarırken, gürültü içinde bulunabilecek anlamlı verileri kaybetmemek için değişik teknikler kullanmaktadır. Deneysel olarak ölçülen gürültü bileşeni, veriden alınan p yeniden yapılandırılmış bileşenler (*Reconstructed Components – RCs*) gürültü azaltma oranı, Monte Carlo simülasyonu (*Monte Carlo SSA*), temsili veri yöntemi (*surrogate-data method*) gibi teknikler kullanılabilir.
- iii. Sağlamlık ve Özdeğerlerin İstatistiksel Kararlılığı: SSA'nın güvenilirliği için diğer önemli bir özellik de, özdeğerlerin istatistiksel kararlılığıdır. Özdeğerlerin istatistiksel güvenini tahmin etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Prensip olarak SSA gecikmeli otokovaryanların tahminine dayalı bir yöntem olduğu için, özdeğerler en azından Blackman-Tukey tahminine yakınsamalıdır²⁴². Sayısal ve örnekleme hataları, özdeğer çiftlerinin salınımsal hareketleri etkin bir şekilde temsil ettiklerini garanti etmezler. Aslında, gürültü spektrumunun hata çubuklarıyla örtüşen özdeğerlerin hata çubukları, bu özdeğerleri, gürültünün bir parçası oldukları konusunda şüphelendirmektedir. Bununla beraber, serilerdeki gürültü ne kadar artarsa, o kadar daha az anlamlı çift, bu gürültülü alandan çıkma eğiliminde olur. Buradaki problem, spektrum kuyruğunu sonuç olarak düzleştirinceğinden, m 'i uygun olarak artırarak, kısmen çözülebilir. Ancak, pencere uzunluğunu genişletmek, bazı sakıncalarından dolayı her zaman uygulanamayabilir.
- iv. Pencere Uzunluğunun (m) Seçimi: SSA, m 'den daha uzun periyotları çözemediği için, pencere uzunluğunun seçimi, SSA için çok önemlidir. Dolayısıyla, uzun periyotları incelemek istediğimizde, m değerini daha

²⁴² VAUTARD, Robert; YIOU, Pascal; GHIL, Michael, "Singular-spectrum Analysis: A Toolkit for Short, Noisy Chaotic Signals", *Physica D*, Cilt 58, Sayı 1-4, Eylül 1992, ss.95-126.

büyük seçmemiz gerekir. Bu m değerinin seçimi, SSA'yı diğer spektral analiz tekniklerine göre, farklı zaman ölçeklerinde daha başarılı inceleme olanağı verse de, bazı dezavantajlarını da göz önünde bulundurmak gereklidir. Aslında, m 'in seçimi bilgi ile istatistiksel güven arasındaki bir seçimdir²⁴³. Eğer m , incelediğimiz salınımların ömründen daha uzun ise, özdeğer fonksiyon serileri, atlama süreksizliklerinde hedefi aşacak; sonuçta da, uyumun genliğini azaltacak, hatta daha sonraları düzelen yapay salınımlar oluşturacaktır. Bunun nedeni, yüksek çözünürlüğün, geniş zirveleri komşu frekanslardaki çeşitli bileşenlere bölmesidir. Diğer taraftan, eğer m çok kısaysa, komşu spektral tepeler birleşirler. Bunun nedeni, çözünürlüğün oldukça düşük olmasıdır. Pek çok istatistikçi, SSA'nın $\left(\frac{m}{5}, m\right)$ aralığındaki periyotlarda başarılı sonuçlar verdiğini belirtmektedir.

- v. Temel ve Yeniden Yapılandırılmış Bileşenler: SSA, Temel Bileşen Analizinden türediği için, konuya Temel ve Yeniden Yapılandırılmış Bileşenler (*Principal Components – PCs, Reconstructed Components – RCs*) açısından bakabiliriz. k -ncı PCs, asıl serinin k -ncı Deneysel Ortogonal Fonksiyonu (EOF) üzerindeki projeksiyonun katsayısıdır. Bu nedenle de, PCs, $X(t)$ sürecinin, ağırlıklı hareketli ortalamalar sağlayan karşılıklı olarak, dik N -uzunluktaki süreçleridir. Aslında, PCs, ortaya çıkan uyum ve orijinal seri arasındaki en küçük kareler mesafesini en aza indiren, herhangi bir EOF alt kümesinin birleşim katsayıları (*combination coefficients*) olduğundan, spektral analiz bakımından, EOF veri-uyumlu hareketli ortalamalar filtreleri olarak değerlendirilebilir. Vautard ve diğerleri (1992) PCs'lerin toplamının asıl serinin güç spektrumuna özdeş olduğunu göstermiştir. Bu yöntem, SSA'nın tamamen doğrusal doğası nedeniyle, doğrusal olmayan zaman serilerinin analizini kolaylaştıran bir araçtır. Bu noktada, Karhunen-Loève teoremi SSA için önemli bir uygulamadır. Bu teorem, seçilen m -genişliğindeki ağırlıklı hareketli ortalamasının kaydırılmasıyla oluşan ve ortonormal temelin her özdeğer vektörü tarafından taşınan bilgiyi analiz etmek için, $X(t)$ serisinin her gözleminin,

²⁴³ GHIL, Michael; MO, Kingse, "Interseasonal Oscillations in the Global Atmosphere. Part I: Northern Hemisphere and Tropics", Journal of the Atmospheric Sciences, Cilt 48, Sayı 5, Mart 1991, ss.752-779.

doğrusal olarak nasıl ayrıştığını göstermektedir. Ancak, PCs, asıl serinin filtrelenmiş sürümleri olduğu için, buradan asıl seriyi tekrar oluştururken, bazı karşılaştırmalar yapmak gerekir. Burada da, RCs'lerin hesaplamalarında ve karşılaştırılmalarının yapılmasında araştırmacılara önemli bilgiler sunar.

Özellikle, ekonomik zaman serilerinde, trend ve döngülerin ayrıştırılması, trend ile döngüsel özellikler arasındaki geri beslemeler, PCs ve RCs ile çözülebilir.

vi. Özdeğer Ögelerinin Yorumlanması: Ekonomik serilerin analizinde, gürültünün doğru olarak arındırılması, önemli salınımların tespiti ve trend ile aşırı alçak frekanslı bileşenlerin ayrıştırılması önemlidir. Aşağıda, bu konular kısaca anlatılmıştır:

- Trend ve Aşırı Alçak Frekansları belirlemek için, Ghil ve Vautard (1991), Kendall'ın global trend tespiti için parametrik olmayan testini temel alan²⁴⁴, trendi ve aşırı alçak frekansları uzaklaştıran, sistematik ve veri uyumlu bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma ile trenden ayrıştırma işlemi, trend tamamıyla seriden uzaklaştırılıncaya kadar birkaç defa yapılabilir.
- Özdeğer Çiftleri: Birbirini izleyen ve yaklaşık olarak eşit olan özdeğerler ve faz dördünleri ile ilişkili EOFs, birlikte temel salınımları belirleyebilirler.
- Özvektörler: SSA'nın önemli noktalarından biri, sistem dinamiklerinin analizine net bir anlam atamak için EOFs'nin yorumlanması ile ilgilidir. Bu sorun, gürültü üzerine yapılan varsayımlarla doğrudan ilgilidir. Özvektör kesmeleri (*eigenspectrum truncation*), beyaz veya renkli gürültüye sahip sinyallerin analizinde önemli fayda sağlasalar da, yetersiz kaldıkları aşamada Monte Carlo yaklaşımı kullanmak gerekebilir.

2.2.4.2. Monte Carlo SSA ve Temsili Veri Yöntemi

Düşük sinyal-gürültü oranı olduğunda veya renkli arka plan gürültüsü bulunduğu, standart SSA yanıltıcı olabilir. Yavaş modlar, önemli sinyaller olarak

²⁴⁴ KENDALL, Maurice. G.; STUART, Alan, "The Advanced Theory of Statistics", Griffin, Londra, 1968, ss.124-156.

yorumlanabilirken; renkli gürültülerin içinde gömülü olan önemli sinyaller de görülmeden geçilebilir. Bu durumu çözmek için Monte Carlo (MC) yaklaşımı geliştirilerek, zaman serilerini, arka planı gürültüleri gibi tanımlanmış süreçlerden ayırt etmek amaçlanmıştır²⁴⁵.

Allen ve Smith (1996), özellikle veri kümelerinde gömülü kırmızı gürültü sürecini ayırmak için MC yöntemini önermelerine rağmen, yöntemin genelleştirilmiş sürümü her türlü renkli gürültüye uygulanabilir. Yöntem, temsili veri yöntemi (*surrogate data method*) olarak adlandırılır²⁴⁶ ve oluşturduğu temsili serilerin gecikme-kovaryans matris dağılımını tahmin ederek, asıl veri katsayılarının, veri uyarlamalı gürültü sürecinkilerden önemli ölçüde farklı olup olmadıklarını test etmek için, kendi projeksiyonlarını söz konusu EOFs üzerinde tanımlar. Daha açıkça belirtmek gerekirse, temsili veri, varsayılan gürültünün farklı gerçekleştirmeleridir. MC-SSA da sıfır hipotezine dayanmaktadır.

MC-SSA yöntemi, anlamlı EOFs'lerin sayısı az veya sıfır hipotezi özellikle karmaşık olduğunda gereklidir. Bununla beraber, ele alınan gürültü sürecinin parametreleri bilinmediğinden, sıfır hipotezi reddedilmekte başarısız olduğunda en çok olabilirlik yönteminin uygulanması gerekir. Ayrıca, hibrid sıfır hipotezlerle çalışıldığında, değersiz olmayan sinyallerin tanımlanmasının artıkları, daha evvel de anlatılan sinyallerin yeniden oluşturulması yaklaşımına dayandırılarak, bileşik sinyal+gürültü temsili verileri oluşturulabilir. Ancak, SSA tabanlı yeniden oluşumlar zayıf iken, düzensiz örneklenmiş ve/veya ayrı varyanslı (*heteroskedastik, heteroscedastic*) veriye uygulandığında, bu teknik gürültü parametrelerinin tarafsız tahminlerini vermemektedir. Bununla beraber, yöntem, değersiz olmayan sinyallerin ve arka plan gürültüsünün belirlenmesinde, araştırmacıların güvenini artırdığı için, karmaşık veya hibrid sıfır hipotezleriyle başa çıkmada son derece değerlidir.

Bu avantajlarına rağmen, SSA bilinmeyen sinyallerin tespitinde riskli olabilir. Yapay varyans sıkıştırması ve benzeri etkiler, hataların oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, Allen ve Smith (1996), hem önceden tespit edilmiş sinyallerin çıkarılması

²⁴⁵ PALUŠ, Milan; NOVOTNÁ, Dagmar, "Detecting Modes with Nontrivial Dynamics Embedded in Colored noise: Enhanced Monte Carlo SSA and the Case of Climate Oscillations", *Physics Letters A*, Cilt 248, Sayı 2-4, Kasım 1998, ss.191-202.

²⁴⁶ THEILER, James; EUBANK, Stephen; LONGTIN, André; GALDRIKIAN, Bryan; FARMER, J. Doyne, "Testing for Nonlinearity in Time Series: The Method of Surrogate Data", *Physica D*, Cilt 58, Sayı 1, Eylül 1992, ss.77-94.

sırasında verilerin özelliklerini korumak, hem de yukarıdaki risklerden korunmak için, geliştirilmiş Monte Carlo algoritması önermişlerdir. Buradaki temel varsayım, aksi kanıtlanana kadar herhangi bir sıfır hipotezinin geçerliliğidir. Böylece, bu yöntem, veriyi ve temsilcilerini, verinin kendisinden türetmek yerine, sıfır hipotez altındaki EOFs üzerine yansıtarak tahmin eder. Bir sinyal tespit edildiğinde, standart SSA ile analiz edilir ve yeniden oluşturulur. Bu tekniği kullanmanın tehlikesi ise, sıfır hipotezli EOFs ile uyum sağlamayan sinyalleri gözden kaçırabilmesidir. Ancak, en büyük faydası ise, ekonometrik uygulamalardaki en kötü hata tipi olan Tip-1 hataların bu teknik ile daha hassas olarak belirlenmesidir. Kısaca, SSA'ı ekonomik verilerde kullanmanın en önemli noktası, verilerin ve temsilcilerinin eşit olarak işlem görmesidir.

2.2.4.3. Geliştirilmiş MC-SSA

MC-SSA'nın esas sorunu, ilgili sinyallerin, gürültü arka planına doğrusal olarak eklendiğinin varsayılmasıdır. Bu nedenle, bir sinyalin tespit edilebilmesi için, sinyalin karakteristik frekans bandındaki varyansının, sıfır hipotezindekinden önemli ölçüde daha büyük olması gerekir²⁴⁷. Ancak, sinyal, genellikle MC-SSA tarafından doğru bir şekilde analiz edilemeyecek karmaşık kökenlere sahip olabilir. Paluš and Novotná (1998), sundukları geliştirilmiş MC-SSA yöntemiyle, SSA modlarının dinamik özelliklerinin temsilcilerine olan bağlılığını test ederek, göreceli varyanslarından bağımsız olarak, ilgi çeken dinamik modların algılanmasını sağlamışlardır. Geliştirilmiş yöntem, hem stokastik süreç, hem de bilgi teorisinden bazı kavramları uygulayarak, seriler içinde gömülü olan belirsizliği ölçer.

2.2.4.4. Çoklu Sönümlenme Yöntemi (Multi-Taper Method – MTM)

Blackman-Tukey yöntemi, spektrumun sürekli bölümünün etkili tahmini verirken; saf sinüzoidal bileşenler, düşük çözünürlük sebebiyle çok zor belirlenirler. Bu durum, döngüsel hareketli sistemlerini incelediğimiz ekonomik zaman serileri açısından bir dezavantaj oluşturur. 1980'li yılların Çoklu-Sönümlenme Yöntemi (*Multi-Taper Method – MTM*) geliştiren David Thomson, BT algoritmasına ekleme yaparak, en

²⁴⁷ PALUŠ, Milan; NOVOTNÁ, Dagmar, “Enhanced Monte Carlo Singular System Analysis and Detection of Period 7.8 Years Oscillatory Modes in the Monthly NAO Index and Temperature Records”, *Nonlinear Processes in Geophysics*, Cilt 11, Aralık 2004, ss.721-729.

uygun fonksiyonların özel bir kümesi boyunca serilerin ortalamasını alarak çözünürlüğü artırmıştır²⁴⁸.

MTM, genellikle, geniş bantlı ve çizgi spektral bileşeni olan zaman serilerine uygulanabilen ve parametrik olmayan bir analiz yöntemidir. Böylece, tepe noktası tespiti sadece tam periyodik bileşenlerle sınırla kalmadan, tüm zaman serisi daha verimli olarak incelenebilir. Öyleyse, MTM'nin, BT'den daha kararlı spektral tahmin vereceği söylenebilir. Bunun nedeni ise, dik pencerelerin küçük bir kümesi üzerinde korelogramın ortalaması alınarak, tek bir filtreye göre varyansın daha fazla azaltılmasıdır. Bu yöntem, özönüm (*eigentapers*) olarak adlandırılır. Optimal özönümler, gerçek tepeler dışındaki frekanslarda yapay yüksek güç oluşmasına neden olan, uygun frekans bandı dışında bulunan, sonlu uzunluktaki güç sızıntısını minimize ederek de BT'ye göre daha buluşsal yöntem sunmaktadır²⁴⁹.

Sadece ilk özönümler spektral sızıntıyı etkin olarak azalttığı için, MTM'de bulunan kararlılık ve çözünürlük arasındaki denge, fiilen kabul edilen K özfonksiyonlarıyla (*eigenfunctions*) ile hem bant genişliği, hem de önümlerin etkin sayısının seçimiyle ilgilidir. Spektral tahminler, öncelikle veri, K dik özönünümle çarpılarak gerçekleştirilir; böylece, K önümlenmiş seriler elde edilir $\{X(t)w_k(t): t = 1, \dots, N\}$, daha sonra da tek tek spektraların ortalaması bulunur;

$$S_k(\omega) \equiv Y_k(\omega)$$

burada; $Y_k(\omega)$ k -ncı önümlenmiş serinin ayrık Fourier dönüşümüdür. Böylece, tahmin edilen güç spektrumu;

$$S(\omega) = \frac{\sum_{k=1}^K \mu_k |Y_k(\omega)|^2}{\sum_{k=1}^K \mu_k} \quad (2.214)$$

seçilen frekans bandına kadar çizgi bileşenlerini belirler. MTM'in diğer yöntemlerden farklılığı, süreç arka planda fazlaca gürültüye sahip olsa bile, spektrumdaki her çizgisel bileşenin genliğini doğrudan belirleyebilmesidir. Bu özellikle, yüksek seviyede gürültüye sahip ekonomik veriler için oldukça verimli analizler yapılmasını sağlayabilir.

²⁴⁸ THOMSON, David J., "Spectrum Estimation and Harmonic Analysis", Proceedings of the IEEE, Cilt 70, Sayı 9, Eylül 1982, ss.1055-1096.

²⁴⁹ GHIL, Michael; VAUTARD, Robert, "Interdecadal Oscillations and the Warming Trend in Global Temperature Time Series", Nature, Cilt 350, Mart 1991, ss.324-327.

MTM yöntemiyle sinyalin tekrar oluşturulması, SSA tekniğindeki uygulamaya benzemekle beraber, MTM’de bilgi, frekans düzleminden gelmektedir. SSA’da ise veri gecikme düzleminden gelmektedir²⁵⁰. Sinyalin yeniden oluşturulması, ekonomik zaman serilerinde, trendin özelliklerinin belirlenmesi, alçak frekanslı salınımların, konjonktür dalgalanmaların ve mevsimsel hareketlerin tespiti için önemlidir. Bu nedenle de, zaman serisi analizi, spektral yeniden yapılanma vasıtasıyla, arka plandaki gürültüsüne rağmen, anlamlı dönemselliklerin periyotlarını, fazlarını ve genliklerini tespit etmedeki yeteneğini artırır. MTM’de ω_0 merkezli sinyalin ayırık zaman yeniden oluşumu aşağıdaki eşitlik ile verilir;

$$\tilde{X}(N\Delta t) = \Re\{A_N e^{-i2\pi\omega_0 N\Delta t}\} \quad (2.215)$$

burada, A_N , K MTM-özspektranın ve uygun sınır şartlarının karmaşık genliğinin dahil olduğu problemin oluşturduğu karmaşık zarftır²⁵¹.

2.2.4.5. Maksimum Entropi Yöntemi (Maximum Entropy Method – MEM)

Spektral analizin çözünürlükle ilgili eksikliğini çözenin diğer bir yöntemi de Bilgi Kuramı, entropi ölçüleri ve doğrusal olmayan karmaşık sistemler analizi arasındaki yakın ilişkiden faydalanmaktadır²⁵². Maksimum Entropi Yöntemi (*Maximum Entropy Method – MEM*), otokorelasyon fonksiyonunun aşamalı çıkarımına karşılık gelen güç spektrumunun yüksek çözünürlüklü tahmininden oluşmaktadır. Tahminin her aşaması, otokorelasyon olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilgi entropisini maksimize etmek için gerçekleştirilir²⁵³. Diğer bir anlatımla, MEM otokorelasyon fonksiyonunun belirsizlik ölçütlerini azaltmayı amaçlamaktadır²⁵⁴.

Burg (1967) tarafından verilen spektrumun MEM tahmin eşitliği;

²⁵⁰ GHIL, M.; ALLEN, M. R.; DETTINGER, M. R.; IDE, K.; KONDRASHOV, D.; MANN, M.E.; ROBERTSON, A. W.; SAUNDERS, A.; TIAN, Y.; VARADI, F.; YIOU, P., “Advanced Spectral Methods for Climatic Time Series”, *Reviews of Geophysics*, Cilt 40, Sayı 1, Şubat 2002, ss.1-41.

²⁵¹ PARK, Jeffrey, “Envelope Estimation for Quasi-periodic Geophysical Signals in Noise: A Multitaper Approach”, *Statistics in the Environmental and Earth Sciences*, Derl: A. T. Walden, P. Guttorp, Edward Arnold, Londra, 1992, ss.189-219.

²⁵² GOLAN, Amos, “Information and Entropy Econometrics - Editor's View”, *Journal of Econometrics*, Cilt 107, Sayı 1-2, Mart 2002, ss.1-15.

²⁵³ BURG, John P. “Maximum Entropy Spectral Analysis”, 37th Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicists, Oklahoma City, 1967.

²⁵⁴ VAN den BOS, Adriaan, “Alternative Interpretation of Maximum Entropy Spectral Analysis”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Cilt 17, Sayı 4, Temmuz 1971, ss.493-494.

$$P(\omega) = \frac{1}{\sum_{k=1} \lambda_k e^{i\omega k}}, \quad |\omega| \leq \omega \quad (2.216)$$

Eşitlik 2.216 verilerle tutarlı ve düzgünleştirilmiş güvenli spektrumu göstermektedir. Burada; λ_k , optimizasyonun k -ncı kısıt ile ilişkili Lagrange çarpanını göstermektedir. Eşitlik 2.216'nın önemli bir özelliği, λ_k sifira yaklaştıkça, k -ncı veri, güç spektrumuna daha az katkıda bulunur.

MEM özellikler ekonometrik uygulamalarda, aşırı özellik tanımlamanın istatistik tekniklerine verdiği zararları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla, Lagrange çarpanları ilgili kısıtın önemini ölçen veri potansiyelini işaret eder; diğer bir anlatımla, ilgili veri tarafından taşınan, bilgi taşıyan gücü gösterir. Bunlara ek olarak, MEM tahmininin, gerçek spektruma yakınlığını, anlamlılık testi yaparak da gösterebiliriz. Bunun nedeni ise, tanımı gereği tüm olası spektranın büyük çoğunluğunun, içerdiği bilgileri paylaşmasıdır. Veri entropisi ile maksimum entropiyi karşılaştıran testler sıfır hipotezinden türetilmiştir. Burada, büyük bir tutarsızlık, sıfır hipotezine karşı bir delil teşkil etmektedir.

Diğer taraftan, AR(m) sürecine benzerliği olan MEM tahmini, gürültülü veri söz konusu olduğu zaman oldukça karmaşık hale gelmektedir. Bunun nedeni de, anomalilerin, genellikle veri kümesi ile tutarlı olan tüm olası süreçlerinin, temsil edilemeyen bazı küçük alt sınıflarının, analizleri etkisi altına almasıdır. Ayrıca, belirlenen spektral tepeler, genellikle MEM sıralamasındaki m sayısı ile artar. Burada, m 'in seçiminde çeşitli görüşler olduğu için, serilerin öncelikle, SSA ile gürültüden arındırılmasında fayda vardır²⁵⁵.

Sonuç olarak, MEM, AR sürecinin, orijinal zaman serisinin davranışına en iyi uyumunu sağlamayı amaçlayan parametrik bir analiz yöntemidir. Parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerin birlikte kullanılması, ampirik analizlerin sağlamlığı sağladığı için, MEM'i diğer spektral tekniklerle birlikte kullanmakta fayda vardır.

2.2.4.6. Dalgacık Analizi

Pek çok analiz yönteminde olduğu gibi, spektral analiz yöntemi de verilerin durağan olduğunu kabul eder. Doğru analizlerin yapılabilmesi için; veriyi, durağan

²⁵⁵ SELLA, Lisa, "Old and New Spectral Techniques for Economic Time Series", Working Paper No. 09/2008, Università di Torino, Dipartimento di Economia "S. Cogneetti de Martiis", Torino, Mayıs 2008.

olduğu varsayımı üzerine değerlendirmeyen ve fazla sayıda gözleme ihtiyaç duymayan, alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Durağanlıkla ilgili sonlu uzunlukların bozucu etkileri dikkate alındığında, SSA uygulamaları ve türetilmiş teknikleriyle incelenen verilerin durağan olması gerekmemektedir. Yine de, çok ölçekli durağan olmayan sürecin (*multiscale non-stationary process*) gerçekleştirilmesinde oldukça başarılı bir yöntem olarak, durağan olmayan gücü farklı frekanslarda gösteren, dalgacık analizi tekniği (*wavelet analysis*) önem kazanmaktadır²⁵⁶. Dalgacık yöntemi, sinyalin zaman/frekans uzayında çifte ayrışımını yaparak, çok ölçekli durağan olmayan verilerin analizine olanak verir²⁵⁷.

Dalgacık analizi ve diğer zaman-frekans yaklaşımları, serinin zaman düzlemindeki parametrelerinin tanımını verirken, bir yandan da serinin frekans bileşenini göstererek, üç boyutlu zamana bağlı spektrumunu tanımlarlar. Diğer anlatımla, teknik, zaman ve frekans osilatör hareketlerinin lokalizasyonu ile ilgili klâsik analiz yöntemlerinin kendine özgün problemleri çözmeyi amaçlar; bunun için de, ilk olarak filtre penceresi boyutunun seçimini; ikinci olarak da, periyodik sinyallerin baskın frekanslarının nihai lokalizasyonu belirler. Ancak, bu tür yaklaşımlar, çok uzun zaman serilerinde verimli sonuçlar verirler ve jeofizik, astrofizik, nörobilim ve finans gibi alanlarda uygulanabilirken; makroekonomi veriler gibi daha kısa serilerde kararsız parametrelere bağlı sonuçlar verebilirler, bu nedenle de makroekonomik serilerde standart spektral tekniklerin uygulanması daha uygundur²⁵⁸.

Dalgacık tekniğinin, bu bölümde daha önce anlatılan diğer tekniklere göre yenilikçi özelliği, zaman serilerinin, zaman ve frekans düzlemlerindeki eşzamanlı ayrışımıdır. Böylece, hem periyodik sinyalin genliği, hem de zaman içindeki değişimi hakkında bilgi edinilir²⁵⁹. Böylece, tek boyutlu zaman serileri görüntüleri, iki boyutlu zaman-frekans şekillerine çevrilir. Ancak, bu analizde dikkat edilmesi gereken konu, yüksek frekans bandındaki zaman lokalizasyonunun yüksek hassasiyeti, frekans çözünürlüğünün azalmasına neden olmasıdır; bu durumun tersi de geçerlidir.

²⁵⁶ RAMSEY, James, "Wavelets in Economics and Finance: Past and Future", *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, Cilt 6, Sayı 3, Kasım 2002, ss.1-27.

²⁵⁷ CROWLEY, Patrick M., "A Guide to Wavelets for Economists", *Journal of Economic Surveys*, Cilt 21, Sayı 2, Ekim 2007, ss.207-267.

²⁵⁸ IACOBUCCI, Alessandra, "Spectral Analysis for Economic Time Series", No 2003-07, *Documents de Travail de l'OFCE, Observatoire Francais des Conjonctures Economiques (OFCE)*, Kasım 2003.

²⁵⁹ TORRENCE, Christopher; COMPO, Gilbert P., "A Practical Guide to Wavelet Analysis", *Bulletin of American Meteorological Society*, Cilt 79, Sayı 1, Ocak 1998, ss.61-78.

Dalgacık parametrik yönteminin temeli, zaman serilerinin genliğini tahmin etmek için, analiz edilen seriler boyunca uzanan, belirli şekillerin (gerçek veya karmaşık) kayan pencere fonksiyonlarından ibarettir. En çok kullanılan dalgacık fonksiyonları, Morlet, Meksika Şapkası ve Gauss Türevi fonksiyonudur (*derivative of Gaussian – DOG*). Bu yöntemin en önemli avantajı, aynı analiz boyunca dalgacık ölçeğinin, genişliğini değiştirerek ayarlanmasıdır. Sistem, bilinen bir tepki fonksiyonuna sahip bant-geçirgen filtre olarak çalışmaktadır. Dalgacık fonksiyonu, $\psi(\eta)$ olarak gösterilir; burada η , boyutu olmayan zaman parametresidir; dolayısıyla da yöntem, zaman serilerini, ters filtrelemeyle tekrar oluşturur.

Dalgacık Dönüşümü (*Wavelet Transform – WT*), dalgacık fonksiyonunun, orijinal N -uzunluktaki $X(t)$ ile iç çarpımı olarak tanımlanan bir filtre çeşididir ve şu şekilde gösterilir;

$$W_n(s) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \psi^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (2.217)$$

burada,

- s : dalgacık ölçeğini,
- n : yerleştirilmiş zaman endeksini,
- δt : sabit bir örnekleme zamanını,
- $*$: karmaşık eşleniği (karmaşık bir sayının sanal kısmının işareti değiştirilerek elde edilen) gösterir.

WT genellikle karmaşık olduğundan, hem genliği $|W_n(s)|$, hem de fazı $[\Im\{W_n(s)\}/\Re\{W_n(s)\}]$ belirlenebilir; burada, $\Re\{W_n(s)\}$ WT'nin gerçek kısmını, $\Im\{W_n(s)\}$ ise sanal kısmı göstermektedir. Eşitlik 2.217, n boyunca çeşitli s -ler için değerlendirdiğinde, iki boyutlu bir değişkenlik görüntüsü, dalgacık genliği ve fazı grafiğinin çizilmesiyle elde edilir. Dalgacık güç spektrumu, spektrogram (*spectrogram*) veya uygunluk analizi (*scalogram*) belirli ölçek ve zamanda sinyalin göreceli gücü hakkında bilgi içerir. Qui ve Er'in (1995) kanıtladığı sonuç ise, özellikle uygulamalarda kullanışlı olmaktadır. Bu sonuç; gürültülü sinyallerdeki dalgacık spektrogramının yanlılığı, zamandan, ölçekten ve dalgacık fonksiyonundan bağımsız olup, gürültüyle ilişkili gücüne bağlıdır; diğer taraftan, dalgacık fonksiyonunun varyansı, zamanın ve ölçeğin fonksiyonu olan, sinyal bileşenin spektrogramına bağlıdır. Hipotez için daha

önemli olan, Torrence ve Compo'nun (1998) kanıtlamış olduğu, dalgacık fonksiyonunun χ_2^2 benzeri dağılımıdır. Dolayısıyla, bu sonuçlar, zaman serisi analizlerinde, dalgacık tekniklerinin verimli kullanılabileceğini göstermektedir.

Ekonomik uygulamalar açısından, Ramsey (2002) bu araçları çeşitli amaçlar için uygulamayı tavsiye etmektedir; bunlar sırasıyla; (i) ekonomik ve finansal veri kümelerindeki frekans bileşenlerinin dinamiklerini açıklayan bir araç olması için; (ii) ekonomik değişkenler arasındaki ilişkiyi, ayrık-ölçek seviyesinde açıklamak için; (iii) serilerin global ve yerel özelliklerini analiz etmek amacıyla, serileri ölçekleriyle tahmin etmek için ve (iv) yerel homojen olmama durumu ile ilgilenmek için.

Bundan sonraki paragraflarda, dalgacık analizi hakkında teknik bilgiler verilecektir; ancak bu konuda daha fazla bilgi edinmek isteyen araştırmacılar, kaynakçada verilen eserleri ve ayrıca özellikle Crowley'in (2007) son çalışmalarını inceleyebilirler.

WT'nin hesaplama algoritmalarını açıklamak gerekirse; WT, frekans düzleminde serinin tüm N -noktalarının eşzamanlı hesaplamasını yapan hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) sayesinde uygulanabilir. Fourier düzleminde Eşitlik 2.217, aşağıdaki şekle gelir;

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\psi}^*(s\omega_k) e^{i\omega_k n \delta t} \quad (2.218)$$

burada; ω frekansı, $(\hat{\cdot})$ ise, $X(t)$ 'nin aşağıdaki Eşitlik 2.219 ile hesaplandığı durumdaki FTT algoritmasını göstermektedir;

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{i2\pi kn/N} \quad (2.219)$$

Uygunluk analizini (*scalogram*) farklı güç spektrumu ile karşılaştırmak için, dalgacık fonksiyonunu normalleştirmek gerekir. Daha sonra, WT fonksiyonunu hesaplamak ve serilerin zaman/frekans uzayında ayrıştırılmasını sağlamak için, altı aşamalı bir süreç uygulanır, bu aşamalar sırasıyla;

- i. Ana dalgacık modelinin seçilmesi (Morlet, DOG v.b. gibi),
- ii. Ana dalgacık FTT'nin hesaplanması,
- iii. Zaman serisi FTT'nin hesaplanması,

- iv. Çözülebilir en küçük ölçek s_0 'ın gücünün iki katı olan ölçeklerin bulunması,
- v. Her bir ölçek için:
- $\hat{\psi}(s\omega_k) = \left(\frac{2\pi s}{\delta t}\right)^{1/2} \hat{\psi}_0(s\omega_k)$ eşitliği yardımıyla, ölçekteki yavru dalgacık Fourier dönüşümünün hesaplanması,
 - Toplam dalgacık standart sapmasıyla bölerek normalleştirilmesi,
 - Sonucun, zaman serileri FTT (Eşitlik 2.219) ile çarpılması,
 - Eşitlik 2.218'i kullanarak, gerçek uzayda ters dönüşümün hesaplanması.
- vi. Sonuçların değerlendirilmesi ve nihai şeklin verilmesi.

WT'nin Fourier uzayında hesaplanmasındaki esas sorun, zaman serilerinin periyodik olduğunu varsayımıdır. Serilerin bir ucundaki sinyalin, diğer uçtaki sinyal tarafından sarılmasını engellemenin bir yolu, zaman serisinin sonunu sıfırlarla doldurmaktır.

WT'ye istatistiksel sıfır hipotez testini uygulamak, serinin uygunluk analizini gerektirir. Bir tepe, seçilen arka plan Fourier spektrumunu aştığı zaman, ilgili özelliklerinin belli bir güven seviyesinde doğru olması muhtemeldir. Bununla beraber, serinin global ve yerel özelliklerini içerebileceğinden dolayı, dalgacık test işlemi öncekilerden biraz farklı olabilir. Daha ayrıntılı olarak, Torrence ve Compo (1998), uygun arka plan ortalama spektrumunu varsayarak, ilgilenilen sıfır hipotezinin test edilebileceğini göstermişlerdir. Bunun açıklaması, yerel dalgacık spektrumunun, yani zaman / frekans spektrumunun; her süreçteki güç haritasının zaman ortalamasıyla elde edilen Fourier spektrumunu takip etmesi olarak verilebilir. Fourier güç spektrumu aşağıdaki şekilde verildiğinden;

$$\frac{N|\hat{x}_k|^2}{2\sigma^2} \rightarrow \frac{1}{d} P_k \chi^2$$

burada, P_k , k Fourier frekansındaki ortalama spektrumu gösterir. Her n anındaki ve s ölçeğindeki yerel dalgacık spektrogramı için karşılık gelen dağılım ise aşağıdaki eşitlik ile verilir;

$$\frac{|W_n(s)|^2}{\sigma^2} \rightarrow \frac{1}{d} P_k \chi^2 \quad (2.220)$$

Eşitlik 2.220'de P_k , k Fourier frekansındaki dalgacık ölçeği s 'e karşılık gelen ortalama spektrumu göstermektedir. Bu ilişkilerden ayrı olarak ise, yerel spektrogramın dağılımı, seçilen dalgacık fonksiyonundan önemli derecede bağımsızdır.

Klâsik Fourier serilerinde olduğu gibi, dalgacık spektrumu düzgünleştirilerek, önemli güç bölgelerindeki güven istenildiği ölçüde artırılabilir; ancak, bu şekilde spektrum ya zamanla (global dalgacık spektrumu) ya da ölçekle ortalaması alınarak düzgünleştirilebilir²⁶⁰. Global dalgacık spektrumu, spektrumun yansız ve tutarlı bir tahmincisi olduğu²⁶¹ ve sıfır hipotezi yerel olarak ölçülebildiği için²⁶², teknik, zaman düzleminde, yerel ve global çerçevelerde oldukça başarılı olmaktadır. Frekans tarafında ise, ölçek ortalamalı spektrogram, belirli bir bant üzerindeki veri kümesinin ortalama varyansının zaman serisine karşılık gelir. Bu özellik, nihai frekans modülasyonunu incelemek için kullanılır.

Sonuncu olarak da, güven eş-yükselteleri (*confidence contours*) istenen seviyede çizilebilir. Eşitlik 2.220'den türetilen güven aralığı (gerçek dalgacık gücünün belirli bir aralık içinde olma olasılığı) aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\frac{2}{\chi_2^2(p/2)} |W_n(s)|^2 \leq W_n^{*2}(s) \leq \frac{2}{\chi_2^2(1-p/2)} |W_n(s)|^2 \quad (2.221)$$

burada,

$W_n^{*2}(s)$: gerçek dalgacık gücünü,

p : istenilen anlamlılığı göstermektedir.

Dalgacık varyans tahmini ile varyans ayrıştırılmasını incelediğimizde ise, aşağıdaki bilgileri özetleyebiliriz. Dalgacık varyans ayrıştırması, farklı ölçeklerle ilişkili bileşenlerin global varyansının katkısını aydınlatmayı sağladığı için, X stokastik sürecini analiz etmede özellikle kullanışlıdır. Bu ifade aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$\sum_{j=0}^{\infty} v_X^2(2^j) = var(X_t)$$

²⁶⁰ TORRENCE, Christopher; COMPO, Gilbert P., "A Practical Guide to Wavelet Analysis", Bulletin of American Meteorological Society", Cilt 79, Sayı 1, Ocak 1998, ss.61-78.

²⁶¹ PERCIVAL, Donald B., "On Estimation of the Wavelet Variance", Biometrika, Cilt 82, Sayı 3, Mart 1995, ss.619-631.

²⁶² KESTIN, T. S.; KAROLY, D. J.; YANO, J. I.; RAYNER, N. A., "Time Frequency Variability of ENSO and Stochastic Simulation", Journal of Climate, Cilt 11, Sayı 9, 1998, ss.2258-2272.

burada; $v_X^2(\lambda)$, λ bant genişliğine sahip X sürecinin ağırlıklı ortalamasının varyansının bir ölçümüdür; $v_X^2(\lambda)$ 'nin λ 'ya göre çizimi ise, hangi ölçeklerin ağırlıklı olarak global çeşitliliğe katkıda bulunduğunu gösterir. Dalgacığın varyansı, her oktav frekans bandı için bir değer kullanarak spektrumu özetlediği için, spektrumu düzgünleştirici bir etki sağladığına dikkat edilmelidir.

Dalgacık varyansının eksikliği ise, güç yasalarına yönelik yanlılığıdır. Başka bir anlatımla, diğer modellerin daha açıklayıcı sonuçlar verdiği veriler için bile, bu yöntem verideki güç yasalarını belirlemek eğilimindedir²⁶³. Bu eksiklikleri gidermek için tamamlayıcı spektral analiz teknikleri de uygulanmalıdır.

Uygulamalarda genellikle iki tahminci kullanılmaktadır; bunlar, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (*Discrete Wavelet Transform – DWT*) ve Azami Örtüşme Tahmincisi (*Maximal-Overlap Estimator – MOE*)'dir. DWT, λ ölçekli bir filtre gibi çalışır ve dalgacığı ayrık olarak örnekleyerek, varyansın yansız ve tutarlı tahmincisini oluşturur. Diğer taraftan, MOE örtüşme tekniğine dayanır ve genellikle tahmini varyansı azaltmak için kullanılır. Bu, örneklenmiş veriyi K alt aralığa ayırmak, her bir dönüşümü hesaplamak ve daha doğru tahminler elde etmek için ortalamalarını almaktan ibarettir²⁶⁴. DWT ve MOE ile ilgili daha geniş matematiksel ve istatistiksel bilgiler Percival (1995) eserinde bulunabilir. Bununla beraber, λ ölçekli bir dalgacık filtresi bant-geçirgen bir filtre gibi kabul edilmesine rağmen, DWT'nin MOE ile ilgili asimptotik bağlı etkinliği bir birimden daha azdır ve hatta 0,5'e yaklaşarak, MOE'nin kullanımını önermektedir.

Sonuç olarak, dalgacık yöntemi, çok ölçekli durağan olmayan süreçlerin analizinde, SSA ve MC-SSA'ya göre geçerli bir alternatif sunarak, zaman/frekans düzleminde çifte ayrıştırma sağlar ve hipotez testi için zengin yöntemler sunar.

2.2.5. Spektral Modelin Finansal Ekonometride Kullanımı

Finansal piyasalar, özellikle hisse senedi piyasaları, toplum, akademisyenler ve politikacılar için her zaman ilgi çekici bir olgu olarak kalmıştır. Bu piyasalar, karmaşık dinamik bir yapıya sahip olup, geleneksel yöntemlerle tüm detayları ortaya

²⁶³ PERCIVAL, Donald. B.; GUTTORP, Peter, “Long-memory Processes, the Allan Variance and Wavelets”, *Wavelets in Geophysics*, Derl: E. Foufoula-Georgiou, P. Kumar, Academic Press, New York, 1994, ss.325-357.

²⁶⁴ MEDIO, Alfredo, “Chaotic Dynamics - Theory and Applications to Economics”, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, ss.250-275.

çıkarılamamıştır. Araştırmacılar, son yıllara bu finansal veriler içinde saklanmış bilgileri ortaya çıkarmak için daha fazla çalışma yapmaktadırlar. Bu amaçla, araştırmacılar çalışmalarını özellikle iki öncü alana çevirmişlerdir. Bunlar, spektral yöntemler ve dalgacık yöntemidir. Bu yöntemlerle ilgili bilimsel çalışmalar yeni olmasa bile, finansal piyasalardaki uygulamaları yeni ve henüz gelişme aşamasındadır.

Spektral metotlar ekonomik zaman serilerinin karakterlerini ortaya çıkarmada her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle, spektrumların şeklinin ekonomik teoriler ve model oluşturmada önemli etkileri vardır. Çünkü, spektral model ekonomik serilerdeki hem düzenliliği ve hem de düzensizliği matematik model olarak gösterebilir. Bu alandaki öncü çalışmaları yapan Granger (1966) çalışmasında, ekonomik zaman serileri için “tipik spektral şekli” tanımlamıştır. Buna göre, spektral yığın, genellikle düşük frekanslarda yoğunlaşmıştır ve frekans arttıkça üstel olarak düzgün bir şekilde azalmaktadır. Bu kuralı Granger daha bilimsel bir şekilde şu ifadeyle belirtmiştir;

“Ekonomik değişkenlerin uzun dönem dalgalanmaları frekans bileşenlerine ayrıştırıldığında, bileşenlerin genlikleri periyodun küçülmesiyle yavaşça azalır... Bunun yanında aynı şekil, eldeki verinin uzunluğundan, tahmin sürecinde kullanılan kesme noktalarından veya trendden arındırma yöntemlerinden bağımsız olarak bulunur”²⁶⁵.

Granger bu iddiasını yaparken eldeki sınırlı ekonomik serilere göre yapmış olmasına rağmen, o dönemden bugüne kadar pek çok ekonomik veri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ancak, yöntemin gelişme aşamasında olması, karmaşık matematiksel fonksiyonlara dayanması ve görece kavramsal içermesi nedeni ile ulusal ve küresel ortamda çok hızlı gelişmemiştir. Granger ayrıca, standart spektral şeklin ekonomik verilerin genelinde benzer bir durum teşkil etmesinin, güç spektrumunun tek başına yeterli bir analiz ve tahmin tekniği olmayacağını, dolayısıyla çapraz spektral analizin farklı ekonomik veriler arasındaki ilişkileri de incelemek için kullanılması gerektiği belirtmiştir²⁶⁶.

Ancak, Granger’in ilk çalışmalarından itibaren, farklı ülke ve ekonomiler üzerine yapılan pek çok çalışmada, Granger’in tanımladığı spektral şeklin genellikle gelişmiş ülkelerde benzerlik gösterdiğini, bununla beraber gelişmekte olan ülkelerde ise

²⁶⁵ GRANGER, Clive W. J., “The Typical Spectral Shape of an Economic Variable,” *Econometrica*, Cilt 34, Sayı 1, Ocak 1966, ss.154–155.

²⁶⁶ GRANGER, Clive W. J., *age.*, s.150.

farklı şekillerde ortaya çıkabildiği incelenmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde güç spektrum eğrisi daha yayılmıştır. Bu da, talep şokları gibi kısa dönem bileşenlerinin, çıktı düzeyi varyasyonlarının büyük bir kısmını oluşturmasından veya düşük veri kalitesinin yüksek frekanslardaki güç spektrumunu şişiren gürültünün kaynağı olmasından kaynaklanabilir²⁶⁷.

Ekonomik zaman serilerinin ortalamasında çoğu zaman bir trend olduğundan, bu trend düşük güç spektrumunun alçak frekanslardaki değerini artırır. Bu noktada, Granger'in tanımladığı “tipik şeklin” bu trenden dolayı oluşup oluşmadığı sorgulanmalıdır. Burada en önemli konu trendin doğru tahmin edilmesidir. Trendin şekli polinom, üstel veya hatta monoton olabilir. Ancak, trendin, incelenen serideki gözlemlenen süreye göre değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bir haftalık bir gözlemede aylık değişimler trend sayılırken, aylık gözlemede yıllık değişimler trend sayılır. Eldeki veri sayısı n ise, $2\pi/n$ 'ye eşit veya daha alçak frekanslardaki bileşenleri içeren bileşenleri, bir başka deyişle serinin boyundan daha uzun dalga boyuna sahip olan bileşenleri trend olarak kabul etmek, isteğe bağlı bir istatistik uygulamasıdır. Trend seriden ayrıştırılmadan yapılacak spektral analizde, elde edilen güç spektrumunda frekanslar bileşenlerinin güçleri komşu frekanslara aktarılacaktır. Bu durum sızıntı (*leakage*) olarak adlandırılır. Regresyon veya filtreleme yöntemiyle trenden arındırılmış bir serinin spektral güç grafiği, standart spektral şeklin alçak frekanslardaki bileşenlerinin güç kaybetmesiyle oluşur.

Tipik spektral şekil, aynı zamanda, uzun periyoda sahip olayların ekonomiyi kısa olan olaylara göre daha fazla etkilediğini göstermektedir. Trend dışındaki bu uzun periyoda sahip döngüler, değişik araştırmacılar tarafından incelenmiş ve Kondratieff uzun dalgası (40-60 yıl), Kuznets uzun dalgası (20-30 yıl), inşaat döngüsü (15-20 yıl), minör veya Kitchin döngüsü (2-4 yıl) vb. gibi adlandırılmıştır. Granger kısa-vadeli faiz oranları ve hisse senedi endeksleri gibi pek çok ekonomik zaman serisinde yaklaşık 40 aylık periyotlarda tepe noktaların oluştuğunu belirtirken, Hatanaka da benzer zirvelerin banka takas ve dökme demir üretim verileri gibi ekonomik serilerde de olduğuna işaret etmiştir²⁶⁸.

²⁶⁷ LEVY, Daniel; DEZHBAKSH, Hasem, “On the Typical Special Shape of an Economic Variable”, Applied Economic Letters, Cilt 10, Sayı 7, 2003, ss.417-423.

²⁶⁸ GRANGER, Clive W.J., “The Typical Spectral Shape of an Economic Variable,” Econometrica, Cilt 34, Sayı 1, Ocak 1966, s.156.

Spektral analiz, zaman düzlemindeki analizlerden farklı olarak, tüm frekanslara eşit ağırlık tayin eder veya analizi belli frekanslarla sınırlandırır. Spektral analiz $0-2\pi$ aralığındaki tüm frekansları kullanan, frekans temelli bir sistemdir. Bu yöntem, tek değişkenli serilerde, her bir frekans bileşenin serinin toplam varyansına olan katkısını belirler. Daha spesifik olarak, “ y_t ” serisinin spektrumu bu serinin oto kovaryans fonksiyonu “ $\gamma(\cdot)$ ”nin Fourier dönüşümü olarak belirlenmiştir ve

$$f_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(k) e^{-ik\omega} dk, \quad -\pi \leq \omega \leq \pi$$

fonksiyonu ile verilmiştir. Burada bir radyan periyottaki salınım sayısı “ ω ” frekans olarak ölçülür. “ $f_y(\omega)$ ” fonksiyonu “ $\omega=0$ ” da simetrik olacağından analiz $0 \leq \omega \leq \pi$ frekans aralığı ile sınırlandırılabilir. Serilerin spektrumu, serilerin salınımı boyunca oluşan değişik bileşenlerinin tüm değişkenlerini ayırıştırır.

Spektral analizin makroekonomideki genel uygulamalarında, frekans aralığı üç bölüme ayrılır: Uzun süreli frekans bandı, ticari frekans bandı ve kısa süreli frekans bandı. Örneğin, Prescott (1986) ticari frekans bandını üç yıldan sekiz yıla kadar olan salınımlar olarak tanımlamıştır. Benzer süreler Granger ve Hatanaka (1964), Lucas (1980), Summers (1980), Zarnowitz (1992), Levy (1994), Levy ve Chen (1994), Carpenter ve Levy (1998), Levy (2000), ve Dezhbakhsh ve Levy (2003) tarafından da kullanılmıştır. Bu göre, bizim seçtiğimiz limitler de uzun süreli frekans bandı için $0 \leq \omega \leq 0.785$, ticari frekans bandı için $0.785 \leq \omega \leq 2.09$ ve kısa süreli frekans bandı için $2.09 \leq \omega \leq \pi$ dir. Bu çalışmada veri kullanılacağı için bu frekans aralıkları sırasıyla, sekiz yıldan uzun sürelere, üç - sekiz yıl aralığına ve üç yıldan kısa olan sürelere karşılık gelmektedir²⁶⁹.

Buna ek özellik olarak, zaman serilerindeki periyodikliği belirleyen spektrumdaki zirveleri vurgulayan $(0, \pi)$ aralığında bulunan zirvenin tam orta noktası, serilerin varyasyonuna en önemli katkıyı yapan periyodik bileşeni belirler. Örneğin, ticari frekans bandı $(0.785 \leq \omega \leq 2.09)$ içinde kalan bir zirve, serilerin varyasyonuna en büyük etkiyi, ticari salınımların ya da konjonktürün yaptığını gösterir.

Tutarlı spektrum tahmini, zaman serilerinin periyodogramlarından elde edilmiş düzenli tahminlerinden sağlanabilir. Spektrum tahmininin tutarlılığını sağlamak için

²⁶⁹ LEVY, Daniel; DEZHBAKSH, Hasem, “On the Typical Special Shape of an Economic Variable”, Applied Economic Letters, Cilt 10, Sayı 7, 2003, ss.417-423.

yapılan düzeltme, periyodogramların ordinatlarının ağırlıklı integrali olarak sağlanır. Gecikme pencereleri (*lag windows*) olarak adlandırılan çeşitli ağırlık yöntemleri literatürde anlatılmıştır. Aralarındaki fark, ağırlıkların oluşturulma şeklidir. Ekonometrik çalışmalarda çeşitli gecikme pencereleri (Bartlett's, Tukey's, ve Parzen's) kullanarak periyodogramların tahminleri düzeltilebilir. Daha önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan bu yöntemler, genellikle benzer sonuçlar verecektir. Bizim kullanacağımız yöntemlerden biri de Bartlett penceresidir. Bartlett'in penceresi, ağırlıkları, komşu frekansların oto kovaryanslarına lineer olarak azalan şekilde atar ve daha sonra sıfır ağırlık olarak görür. Buna göre, " $f(\omega_j)$ "'yi, " $\omega_j=j\pi/m$ " ve " $j=0, 1, 2, \dots, m$ " iken tahmin edebiliriz. Ordinatların numarası, Chatfield (1989, p.115) tarafından tavsiye edildiği gibi $m = 2\sqrt{\text{örnek büyüklüğü}}$ kuralı ile belirlenir. Tahmin edilecek spektrumun varyansını ve dolayısıyla da uygun güven aralıklarını elde etmek için, ω frekansındaki tahmini spektrumun, $\hat{f}(\omega)$ yaklaşık olarak χ^2_v/v varyansı ile dağılmış olacağını gerçeğini kullanacağız. Burada " $v=3$ (örnek büyüklüğü)/ m " (Fuller, 1976, s.296).

Ekonomik zaman serilerinde, spektral analiz her ne kadar matematiksel bir süreç gibi görünse de, olayların gelişimini anlamak ve belli bir mantıksal süzgeçten geçirerek süreci devam ettirmek, daha verimli sonuçlar sağlayacaktır. Spektral analiz her ne kadar durağan süreçleri inceleyebiliyorsa da, serilerdeki trendin uzaklaştırılması aynı zamanda serideki diğer bilgilerin de kaybolmasına neden olabilir. Ayrıca, pek çok ekonomik seride, Granger'in "tipik spektral şekli", trendin varlığının bir sonucu olarak da oluşabilmektedir. Dolayısıyla, trendi bir regresyon yöntemi veya filtre ile uzaklaştırmak, artıkların spektrumunu yansız hale getirirken, alçak frekanslarda genellikle güç kaybına neden olacaktır.

Konjontür dalgalanmalar da, spektrumda kendisini daha önemsiz tepeler olarak gösterecektir. Bu dalgalanmaların sabit bir frekansı olmadığı için, spektrum üzerinde tek bir tepe yerine, bir frekans bandı olarak belirlenebilirler. Bu tür dalgalanmaları belirlemek için, öncelikle, eldeki verinin yeterince uzun olması önemlidir. İkinci olarak da, alınan örneğin yığını tanımlama özelliğidir. Farklı zamanlarda, farklı uzunluklarda vb. alınan örnekler farklı sonuçlara neden olabilir ve bu "örnekleme hatası" olarak adlandırılır.

Bu noktada çıkarabileceğimiz sonuç, spektral analiz tekniklerinin, ekonomi politikaları için faydalı olmalarını sağlamaktır. Pek çok ekonomik değişkeni aşağıdaki iki temel model ile gösterebiliriz:

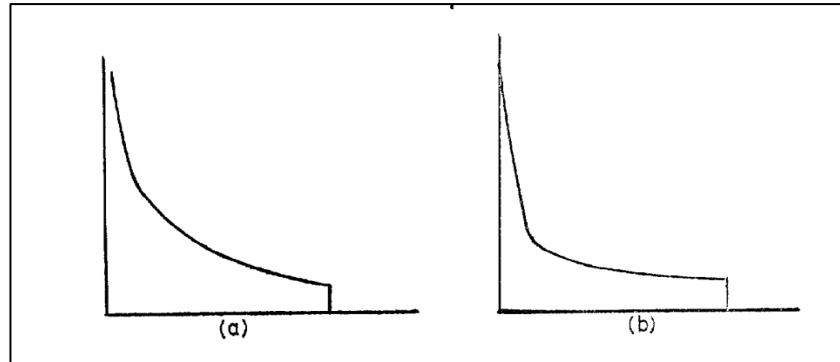
- i. Ekonomik değişkenlerdeki trend ve konjonktür dalgalanmaların aynı mekanizma tarafından üretildiği model ve bu model şu eşitlikle gösterilir:

$$X_t - \alpha X_{-1t} = \varepsilon_t; \quad 1 < \alpha \leq 1,4$$

- ii. Ekonomik değişkenlerdeki trend ve konjonktür dalgalanmaların farklı mekanizma tarafından üretildiği model ve bu model şu eşitlikle gösterilir:

$$X_t = \text{ortalamadaki trend} + Y_t; \quad Y_t - \alpha Y_{-1t} = \varepsilon_t; \quad 0,7 < \alpha \leq 1$$

Ancak, spektral yöntemler bu iki model arasında ayırım yapmakta yetersiz kalmaktadır. Ancak, spektral analiz ile ekonomiyi kontrol etmenin bir yolu, trendi bozmadan uzun dönemli dalgalanmaları yumuşatmak olabilir. Bu fikir, Şekil 2.47'de diyagram olarak, spektral şekil A'dan spektral şekil B'ye hareket ederek ifade edilmiştir.



Şekil 2.47: Uzun Süreli Dalgalanmaların Zayıflatılması

Burada, eğer ilk model doğru gösterim olursa, trendi yavaşlatmadan ekonomiyi kontrol etmek mümkün olmayacaktır. İkinci gösterim doğru olursa da, bu tür bir denetim değişkenlerin daha istikrarsız olmasına, dolayısıyla da uzun dönemli dalgalanmaların artmasına neden olabilir. Her iki etkinin de olması, muhtemelen istenmeyen bir durum olacaktır. Bu tür bir denetim politikası, süreci rastgele yürüyüşe yakın bir duruma getirecektir. Buradan çıkarabileceğimiz sonuç, gerçekten uygun bir denetim yönteminin, alçak frekans bileşeninin sadece bir bölümünü değil, alçak

frekansın tamamını kontrol edebilen bir mekanizma ile olabileceğidir²⁷⁰. Ancak kesin olan nokta, ekonomik analizlerin tam ve doğru yapılabilmesi, ancak tüm ilişkilerin doğru belirlenmesi; trend, mevsimsel ve konjonktür hareketlerin arasındaki ilişkilerin doğru tanımlanması, ayrıca artık kısmın iyi analiz edilmesiyle mümkün olacaktır. Bunun için de, yeterli verinin toplanması ve işlenmesi için teknolojinin ve bilimin iyi kullanılması gerekmektedir.

2.2.5.1. Ekonometrik Metot Temelleri

Ekonometrisiler, değişkenleri bir grup bileşenlere ayırmışlardır. Ekonomik değişkenler, daha evvelki bölümlerde de belirttiğimiz gibi, trend + döngüler + hata terimi bileşenleri veya kısa süreli + orta süreli + uzun süreli döngüler olarak ayrılabilir. Ekonomik verilere ilk bakışta, genellikle uzun süreli yüksek genlikli salınımların yanında, kısa süreli alçak genlikli salınımlar da mevcuttur. Dahası, ekonomik salınımlar önemli bir yıllık bileşen içerirler. Dolayısıyla, veriyi trend + döngüler + mevsimsel + hata şeklinde göstermek daha doğru olacaktır. Burada bileşenlerin ayrımı önemli bir faktördür. Çünkü, örnek serinin uzunluğuna göre trend kavramı değişebilmektedir. Eğer örnek seri uzunluğu n ise, $2n$ 'den daha uzun olan döngüler trend olarak değerlendirilebilir. Bu tanım, sonsuz periyoda sahip polinomları ve diğer periyodik olmayan eğrileri de içerir. Ayrıca, bir döngünün karakteristiğinin de belirlenebilmesi için, incelenen döngünün altı veya yedi devir yapması beklenir.

Döngülerin ise, yıllık bileşen dışında yaklaşık 20 aylık uzunluğunda olduğu düşünülürse, bu durumda analiz yapabilmek için oldukça uzun bir veriye ihtiyaç vardır. Ayrıca, döngülerin sabit bir genliğe sahip olmadıkları, komşu frekansların girişimleri olacağı, dolayısıyla da frekans düzleminde tek bir frekans yerine bir frekans bandı ile gösterilecekleri düşünülmelidir.

Mevsimsel hareketler ise daha düzenli olan döngülerdir. Fazları ve genlikleri zamanla değişmekte dolayısıyla da, yukarıda belirtilen döngülerde olduğu gibi, spektral düzlemde daha dar bir bant genişliğine karşılık gelirler.

En belirsiz olan ise, “hata”, “rastgele” veya “düzensiz” olarak belirtilen bileşendir. Hareketli ortalamalar tipi filtreler ile gücü sıfıra indirilebilen bu rastgele bileşendir ve bu bileşenin yüksek frekansa sahip olduğu öngörülmektedir.

²⁷⁰ GRANGER, Clive W.J., “The Typical Spectral Shape of an Economic Variable,” *Econometrica*, Cilt 34, Sayı 1, Ocak 1966, ss.154–155.

“Kısa süreli”, “orta süreli” ve “uzun süreli” bileşenler yaklaşımı da benzer olarak; “kısa süreli” döngülerin yüksek frekanslı, “uzun süreli” döngülerin ise düşük frekanslı ve “orta süreli” bileşenlerin de ikisinin arasındaki döngüler olduğunu görüşünü ortaya koyar. Ekonomistler, ekonomik verilerdeki uzun süreli bileşenlerin gücünün, kısa süreli bileşenlere göre daha fazla olduğunu ve frekans yükseldikçe gücün azaldığı önmektedirler. Genellikle, “kısa süreli” döngüler $(\frac{\pi}{2} - \pi)$ aralığında; “uzun süreli” veriler $(0 - \frac{2\pi}{30})$ aralığında; “orta süreli” veriler ise kalan aralıkta olarak değerlendirilir. Bu aralıklar tamamıyla keyfi seçimdir ve aralıklar analize, analizcinin amacına ve verinin büyüklüğüne göre 40 ve 60 bileşene kadar ayrılabilir.

Bu bağlamda, Cramér’in spektral gösterimi de, $(0 - \pi)$ aralığındaki frekanslar ile verilen ve bir ölçüde veri üreten sürecin gösterimi olan tüm frekansların, modelin oluşturulduğu ekonomik kurallarla bir şekilde ilişkili olduğunu belirtir. Ancak, her bir bileşen farklı kurallara riayet edebilir. Cramér’in gösterimindeki diğer bir konu da bileşenlerin arasındaki bağımlılıktır. Ekonomistler bu konudaki deneysel çalışmalarda, durağan olmayan serilerin bileşenleri arasında bir bağımlılık görüldüğü, dolayısıyla da örneğin, kısa süreli dalgalanmalardaki bir artışın, uzun süreli bileşenlerin hareketini etkileyebileceğini görmüşlerdir. Durağan serilerde ise, bileşenlerin daha bağımsız oldukları gözlemlenmiştir.

Buradaki tartışmalar, daha önceki bölümlerde de açıklanan, değişik ekonomistler tarafından öne sürülen, çeşitli uzunluktaki ekonomik döngü teorileri ile de örtüşmektedir. Spektral teknik ile amaçlanan ise, verilerin içindeki her bir frekans bileşenini tek tek bulup, ilgili tepe noktaları tespit etmek değil; toplam varyansa önemli oranda katkı sağlayan döngüsel bileşenlere karşılık gelen frekans bantlarını bulmaktır. İncelenen farklı serilerde aynı frekansların gözlenmesi de bu serilerin bu frekanslarda yakından ilişkili olduklarını göstermektedir.

2.2.5.2. Veri Toplama, Uygulama ve Değerlendirme

Spektral analizde, hipotezin kurulmasından önce verilerin ve bu verilerin toplanacağı zaman aralığının tespiti, analizin etkinliğini sağlar. Analiz edilen verilerdeki döngüler tekrar edici olmalı ve kronolojik zaman göre düzenli olmalıdır.

Piyasanın etkinliği durumunda fiyatlar, piyasada bulunan tüm bilgiye göre oluşacağı için piyasalarda herhangi bir döngünün olmayacağı söylenebilir. Bu durumu

inceleyen bazı araştırmacılar ise, zamanı kronolojik zaman yerine, ekonomik olayları temel alan bir zamanı kullanmışlardır. Örneğin, hisse senetlerini, ekonomideki genişlemelere ve daralmalara göre incelemişlerdir. Bu tür incelemelerde temel amaç, incelenen serideki değişimleri daha doğru olarak yakalayabilmektir. Çünkü, eğer alınan örnek seri, esas serideki değişimleri doğru olarak gösteremiyorsa, elde edilecek spektra da herhangi bir anlam ifade etmeyecektir. Dolayısıyla, ekonomik olaylardaki değişimleri, ekonomik konjonktürü temel zaman eksenini kabul ederek incelemek, bir başka deyişle hisse senedi vb. gibi ekonomik değişkenlerin döngülerini, makroekonomik aktivitedeki döngülere bağlı analiz etmek daha doğru spektranın elde edilmesine imkân sağlayabilir. Buradaki temel fikir, örnekleminin kronolojik olarak değil, olayların değişimine göre işlemsel olarak yapılmasıdır²⁷¹.

Spektral teknik ile yapılan çalışmalarda, genel olarak bazı temel uygulamalar kullanılabilir. Bunlar, aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Toplanan veriler bir ön analizden geçirilerek periyodogram veya spektral analiz için uygun olup olmadıkları belirlenmelidir. Eğer, serilerde herhangi bir belirgin trend bulunuyorsa, periyodogram veya spektral analiz yapılmadan önce bu trend bileşenleri seriden çıkarılmalıdır. Yapılan analizin ham veriye mi, yoksa trend ayrıştırmadan sonra kalan veriye mi (genel uygulama bu şekildedir) yapıldığı açıklanmalıdır. Zaman serisindeki trende bağlı varyans yüzdesi belirtilmelidir. Temel periyodik bileşenlerin döngü boyları biliniyorsa, periyodogram veya spektral analiz kullanılmadan harmonik analiz kullanılarak genlik, faz gibi diğer bileşenler belirlenebilir. Ancak, döngü boyu bilinmiyorsa periyodogram veya spektral analiz kullanılarak bileşenler belirlenebilir.

Döngü uzunluğu, daha evvelki çalışmalardan veya periyodogram veya harmonik analiz yöntemleri ile tahmini olarak belirlenmiş ise, en uygun döngü boyunu belirlemek için, tahmin edilen döngü boyu civarında hedef / ızgara arama (*grid search*) yöntemi kullanılabilir. Ortaya çıkan eşitliğin, orijinal zaman serisiyle birlikteki grafik gösterimi, modellenen zaman serisi verisinin hangi özelliklerinin en net şekilde açıklandığını anlatabilir.

Çalışmada kullanılacak zaman serisinin uzunluğu N ve örnekleme frekansı Δt , daha önce de belirtildiği gibi, çalışmanın verimliliği için çok önemli ölçütlerdir. Spektral analiz hesaplamaları, bu temel değerler üzerine kurulur dolayısıyla, bu

²⁷¹ PERCIVAL, John R., "Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time", Working Paper No: 10-76, University of Pennsylvania, The Wharton School, 1973.

değerlerin seçimindeki gerekçe belirtilmelidir. Çalışmanın her aşamasında, veriler ve varsa ortaya çıkan ara sonuçlar analiz ve yorum süzgecinden geçirilmelidir. Bu işlemin amacı; zaman serisinin değerlerinin normal bir dağılım içerip içermediği; ortalama, varyans, aralık, en küçük ve en büyük değerlerin makul olup olmadığı; aykırı değerler gibi zaman serisi değişkenlerinin dağıtım şekliyle ilgili sorunlar olup olmadığı ve veri dönüşümü yapıp yapılmadığı gibi konuları değerlendirmektir.

Periyodogram veya spektrumdaki frekansların özelliklerini tablo olarak göstermek çalışmanın sonuçlarını analiz etmeyi kolaylaştırabilir. Öncelikle, yapılan gözlemlerin veya örneklemin, döngü boyuyla olan ilişkisi analiz edilmelidir. Ayrıca, periyodograma Fisher Testi vb. ve spektruma güven aralığı vb. testler uygulanarak bulunan periyodik bileşenlerin istatistiksel anlamlılığı açıklanmalıdır. Bir başka deyişle, bu periyodik bileşenlerin bulunmasında kullanılan ölçütlerin istatistiksel anlamlılığı test edilmelidir. Tabloda, esas ve en belirgin periyodik bileşenlerin döngü boyu, o döngü için varyansının yüzdesi, döngü boyu ve döngünün istatistiki anlamlılığı gösterilmelidir.

Harmonik analiz sonucu bulunan ve temel periyodik bileşenleri gösteren sinüs ve kosinüs katsayıları kullanılarak yeniden oluşturulan sinüzoidal grafik ile asıl zaman serisi grafiği karşılaştırılarak, analiz sonucu elde edilen verinin zaman serisinin özelliklerini ne kadar açıkladığı belirlenir.

Bu arada, frekansların karışması (*aliasing*), sızıntı (*leakage*), trend, aşırı aykırılık gibi yorumu sınırlayabilecek veya değiştirebilecek olaylar dikkate alınmalı ve ortaya çıkan analiz sonucunu, ne kadar etkilediği tartışılmalıdır. Ölçüm yöntemi veya tekniğindeki değişimlerin de analize etkisi bu noktada dikkate alınmalıdır.

Birden fazla zaman serisi incelemesinde ise, veriler arasındaki ilişkiyi test etmek, ayrı bir çalışma gerektirmektedir. İncelenen konuların verilerinin, döngü boyları, genlikleri, fazları, başlama ve bitiş noktaları gibi temel ölçüt değerleri aynı, benzer veya farklı olabilir. Ayrıca, her bir verinin trend değerleri de farklı olabilir. İncelenen konular hakkında yapılmış önceki çalışmalarda, farklı yöntemler kullanılmış olabilir. Bu nedenle, farklı analitik süreçler farklı sonuçlara neden olmuş olabilir. Bu durumda, en iyi uygulama, tüm olay veya konularının zaman serilerini ilişkilendiren standart bir spektral analizden önce, her bir olaya ayrı bir spektral analizi yapmak ve tüm olaylara uygulanabilecek ortak bir modeli belirlemektir.

Zaman serisinin döngüsel ölçütlerinde, zamanla değişimler oluşabilir. Bu durumda zaman serisi durağanlık özelliğini kaybedecek ve tüm zaman serisi üzerinde yapılacak spektral analiz, yanıltıcı olacaktır. Bu değişimleri belirlemek için farklı yöntemler kullanılabilir. Zaman içerisinde döngülerdeki değişimi ortaya çıkaracak mümkün olan en basit yöntem, aynı zamanda durağanlığın ihlalini de belirleyecek iyi bir yöntemdir. Yeterince uzun bir zaman aralığında toplanmış veri, eşit uzunlukta bölümlere ayrılır ve periyodogram ve spektral analiz yöntemleri her bölüme uygulanarak ortalama, varyans ve periyodogramlar belirlenir. Her bölüm için bulunan sonuçlar değerlendirilir. Eğer tek bir zaman serisi varsa, bulunan bu ölçütler görsel olarak karşılaştırılarak, bir değişimin olup olmadığı belirlenir. Ancak, birden fazla zaman serisi varsa, bu durumda tekrarlanan ölçümler ANOVA (*repeated-measures ANOVA*) yöntemi kullanılarak bu ölçütlerin, zamanla önemli şekilde değişip değişmedikleri belirlenir. Eğer zaman serilerinin verileri yeterince makul büyüklüktüyse bu yöntemi kullanmak en kolay yoldur.

Ölçütlerdeki değişimleri analiz etmenin diğer yolları ise, karmaşık demodülasyon (*complex demodulation*) ve bant geçiren filtre (*band-pass filter*) yöntemlerini kullanmaktır. Karmaşık demodülasyon, özel bir parametrenin tahmini içermektedir ve bu parametre zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenip grafik olarak gösterilebilir. Bant geçiren filtrede ise, hareketli bir filtre oluşturulur ve en uygun sinüzoidal bulununcaya kadar zaman serisinin bölümleri üzerine uygulanır.

İki değişkenli zaman serilerinin analizinde ise şu adımlar takip edilebilir;

- i. Her bir serinin tek değişkenli spektral analizi yapılır,
- ii. Geçerli istatistik anlamlılık testleri yapılır; bu testler her bir değişkenin (X ve Y) varyans oranı ve trend, döngü ve artıklarla ilgili anlamlılık testleri yapılır,
- iii. Bu analizlere göre serilerden birinin veya her ikisinden de trendin ayrıştırılıp ayrıştırılmayacağı ve serilerin belirgin periyodik bileşene sahip olup olmadıkları belirlenir,
- iv. Zaman serileri arasındaki ilişki hakkında nedensel çıkarım yapılabileceği araştırılır; bu araştırmada trendlerin varlığı, azalan veya artan eğimi, döngülerin uzunluğu, genliği incelenir; genliğin zaman içinde tutarlılığı/sürekliliği gözlemlenir,

- v. Ön beyaz gürültü dönüşümü (*prewhitening*) gerekli ise, her bir zaman serisi üzerine uygulanır. Bazı durumlarda, sadece trend çıkarılarak çapraz spektral analiz yapılırken; bazı durumlarda tüm döngüsel bileşenler de seriden çıkarılır. Hangi bileşenin çıkarılacağı, zaman serileri arasındaki gerçek ilişkinin hangi bileşenlere bağlı olduğunun değerlendirilmesine göre yapılır, sahte ilişki gösteren bileşenler seriden çıkarılır,
- vi. Her bir değişkenin, ham zaman seri verisinin grafiği ile analiz sonrası bulunan denklemin grafiği aynı eksen üzerinde gösterilir ve elde edilen denklemin, verinin iyi bir açıklaması olup olmadığı görsel olarak teyit edilir,
- vii. Zaman serileri çiftleri arasındaki ilişki için basit, net ve makul bir model çıkarılır,
- viii. Seriler arasındaki ilişkinin, yalnızca yapay bir ilişkiye sahip olup olmadığı, paylaşılan veya tersi trendlerin varlığının değerlendirilmesi, hem X hem de Y zaman serilerinin trendlerinin, varyansın büyük bir bölümü oluşturup oluşturmadıkları, eğimlerinin aynı yönlü olup olmadığı değerlendirilir (burada X 'in trend bileşeni ile Y 'nin trend bileşeni arasındaki korelasyonu değil, korelasyonun işaretini belirlemek faydalı bir bilgidir),
- ix. Serilerin döngüleri arsında eşgüdümlü bir ilişki olup olmadığı, X ve Y zaman serilerinin aynı veya benzer uzunlukta döngülere sahip olması halinde, gecikmeli çapraz korelasyon fonksiyonu kullanılarak her bir döngü çiftinin arasındaki öngörülebilirlik belirlenir. X ve Y zaman serilerinin döngü boyları periyodogram veya spektral analiz ile belirlendikten sonra, harmonik analizi yöntemiyle yeniden üretilir. Tek bir grafik üzerinde çizilen bu X ve Y 'nin sinüzoidleri, X döngülerinin Y döngülerine nasıl bağlı olduklarını görsel olarak gösterir. Bu gösterimle, X ve Y 'nin aynı genliğe sahip olup olmadıklarını, aralarındaki gecikmeyi ve genliklerinin büyüklükleri arasındaki ilişki belirlenir,
- x. Ön beyaz gürültü dönüşümü (*prewhitening*) sonucu elde edilen artıkların, çapraz spektral analiz için kullanılmasına karar verilirse, tutarlılık tahminin yapılabilmesi için, düzgünleştirme öncelikle her bir tek değişkenli zaman serisine uygulanır. (Eğer çapraz spektrum, düzgünleştirilmemiş tek değişkenli zaman serilerine uygulanırsa tutarlılığın karesi hatalı olarak bir

(1) olacaktır). Buradan elde edilecek tutarlılık spektrumu ve faz spektrumu faydalı bilgiler verecektir,

- xi. X ve Y serilerdeki trend ve döngülerin dışında kalan anlık değişimi gösteren artıkların, birbiriyle ilişkili olup olmadığı belirlenir. Seriler arasında asimetrik (serilerden sadece birinin diğerini etkilemesi) veya simetrik (serilerin her ikisinin de birbirini etkilemesi) durumu incelenir. Ayrıca, örnekleme frekansının gecikme süresini doğru tespit edebilecek bir sürede olması gereklidir. Örneğin, seriler arasındaki gecikme süresinin sıfır (0) olması durumunda, örnekleme frekansının yanlış tespit edilmiş olabileceğini gösterebilir,
- xii. Seriler arasındaki bağıllık, üç şekilde olabilir; trendlerin korelasyonu, döngülerin uyumu ve artıkların korelasyonu. Bu üç bağıllık, serilerin mantıksal olarak ayırt edilebilirliğini sağlar. Seriler, bu ilişkilerden hiçbirine, birine, ikisine veya hepsine sahip olabilirler. Ayrıca, bu ilişkilerin kaynağı X ve Y 'nin davranışlarını etkileyen üçüncü veya daha fazla miktardaki harici değişkenler olabilir. X ve Y serileri, ortamdaki aynı harici değişkene tepki verdikleri için, sahte bir ilişki gösterebilirler. Bu kaynak, artıklardan çok trend ve döngüleri etkileyebileceği gibi, ortamdaki üçüncü bir beyaz gürültü de her iki trendin artıklarını etkileyebilir,
- xiii. Tüm analizler sonucunda, her bir frekans için elde edilen bilgiler sırasıyla; X zaman serisindeki bu frekansın açıkladığı varyans oranı, Y zaman serisindeki bu frekansın açıkladığı varyans oranı, bu frekansta X ve Y arasındaki tutarlılığın karesi ve bu frekanstaki X ve Y arasındaki faz ilişkisidir,
- xiv. Elde edilen bilgilerin fazla olması nedeniyle, bazı bilgileri elemek gerekebilir. Eleme işlemi için değişik analizler yapılır, bunlar; birinci olarak, eğer bir frekanstaki varyans ihmal edilebilir miktarda ise, buna karşılık tutarlılığın karesinin büyük bir değere sahip olması önemli olmayabilir. Bu nedenle, tek değişkenli spektral analiz yöntemi, hangi frekans bantlarının, ilgilenilen zaman serisinin birinde veya her ikisinde birden yeterli varyansa sahip olmadığını belirleyen bir yöntem olarak kullanılabilir. İkincisi, geniş bir frekans bandı boyunca tahmin yapılması

istendiğinde, belli frekans bantları için tutarlılıkların ortalamaları alınır ve ağırlıklı tutarlılık yöntemi ile geniş frekans bandı boyunca tutarlılık özetlenir. Üçüncüsü, faz spektrumu büyük oranda tutarlılık spektrumunun (*coherence spectrum*) değerlerine bağlıdır; dolayısıyla, X ve Y zaman serilerinin belli frekanslarında yüksek tutarlılık yoksa, X ve Y zaman serilerinin arasında bu frekansta faz ilişkisini de incelemek anlamsızdır. Dördüncüsü, karşılık gelen döngü bilindiğinde, faz, zaman gecikmeleri tahmin edilebilir. Tutarlılık, iki zaman serisi arasındaki zaman gecikmeli bağımlılığın tespit edilmesinde kullanışlı olabilir. Bu tespit Gecikmeli Çapraz Korelasyon Fonksiyonu (*lagged CCF*) kullanılarak da daha kolay olarak belirlenebilir.

Bir zaman serisinin diğer seri üzerindeki nedensel etkisini incelemek için öncelikle serilerden biri veya her ikisi de tüm ardışık bağıntı (*serial dependence*) içeren bileşenler ayrıştırılır. Yansız (*unbiased*) anlamlılık testini uygulamak için beyaz gürültü artıkları gereklidir ve hata terimi bu veriler yardımıyla hesaplanır.

Bununla beraber, zaman serilerinden trend ve döngüsel bileşenler uzaklaştırıldığında bazı faydalı bilgiler de uzaklaştırılmış olacağından, bu bilgileri korumak ve pek çok değişik analiz yardımıyla, zaman serileri arasına paylaşılan modellerin doğasını belirlemek daha doğru bir yaklaşım olabilir. Beyaz gürültü, anlamlılık testini yapmak için kullanılmakla beraber, eğer trend ve diğer döngüsel bileşenlerin çıkarılmasında dolayı zaman serilerinin modelleri göz ardı ediliyorsa ve bu bilgi sonuç olarak belirtilmiyorsa, yapılan çalışmanın etkin olabileceği söylenemez²⁷².

2.2.5.3. Zaman Serileri ile Spektral Modelin Ekonometride Karşılaştırılması

Zaman serileri analizi, ilgilenilen zaman serisinin periyodik olarak tekrarlanma genliği (frekansının genliği) nispeten yüksek bir seviyede ise, diğer bir ifadeyle de varyansın büyük bir kısmını gösteriyorsa, kullanımı oldukça fayda sağlamaktadır. Zaman serileri, zaman düzleminde analiz edilirler. Spektral teknikler ise, zaman serileri analizinin tersine frekans düzleminde, spektral yoğunluk fonksiyonuna dayalı olarak yapılır.

²⁷² WARNER, Rebecca M., "Spectral Analysis of Time-Series Data", The Guilford Press, New York, 1988, ss.123-124.

Serileri frekans düzleminde analiz etmemizi sağlayan spektral analiz tekniği, serilerin temel salınımlı bileşenlerinin sayısal özelliklerini hassas olarak açıklamak için çok kullanışlı bir yöntemdir. Doğa bilimlerinde çok sıklıkla kullanılmalarına rağmen, ekonomi biliminde yeterince kullanılamamaktadır. Juglar (1862) Fransa, İngiltere ve ABD verileri üzerinde ilk ekonomik serileri incelediğinde, ekonomik krizlerin tekrarlanan bir olay olduğunu öne sürmüştü. O zamandan beri pek çok bilim insanı ve ekonomik öğretisi, bu tekrarlanan ekonomik olayların sebeplerinin neler olacağını incelemişlerdir, ancak konu henüz çözülmemiştir. Bununla birlikte, son yıllarda ekonomideki karmaşıklık çalışmalarının yayılmasıyla, ekonomik sistemlerin karmaşık uyarlanabilir dinamik sistemler (*complex adaptive dynamic systems*) olabileceği düşünülmüştür²⁷³. Bu çerçevede, Hallegatte, Ghil, Dumas ve Hourcade (2008), dengede olmayan dinamik modeli (*non-equilibrium dynamic model – NEDyM*) önermişler ve dışsal şoklara verilecek tepkilerin, içsel ve periyodik konjonktür dalgalanmalar yaratacağını simülasyonlarla göstermişlerdir²⁷⁴. Bu alanda yapılan pek çok çalışma, bilim insanları ve farklı öğretiler arasında teorik ve deneysel (*empirical*) görüş farklılıkları olduğunu göstermekte ve ortak bir noktada buluşulmadığını kanıtlamaktadır. Kalemlili-Özcan, Sørensen ve Yosha (2001) ülkeler arasındaki ekonomik ve finansal bütünleşmenin ticareti artırıp konjonktür dalgalanmaları azaltacağını varsayarken; Coe ve Helpman (1995), Frankel ve Rose (1998) ticaret engellerinin ortadan kaldırılması, şokların da ülkeler arasında daha kolay yayılmasına dolayısıyla da konjonktür dalgalanmaların artacağını savunmuşlardır. Bu çalışmaların çoğu, zaman düzleminde yapılmış çalışmalardır; konuyu frekans düzleminde incelemek ise farklı sonuçlar verebilir ve eğer verirse de bu zaman düzlemi ile frekans düzlemi arasındaki analiz farklılıklarının neler olabileceği hakkında bilgi verebilir.

Eksiklikleri nedeniyle, ekonomik zaman serilerine uygulanmasında zorlukları olan spektral analiz tekniği, son yıllarda yapılan çalışmalarla daha geliştirilmiş ve bu eksikliklerin bir kısmı giderilmiştir. Sızıntı (*leakage*), durağanlık, ergodiklik (döngellik), gürültüler, düzensiz zaman serileri (*chaotic time series*) gibi konuların

²⁷³ ARTHUR, W. Brian; HOLLAND, John; LEBARON, Blake; PALMER, Richard, “The Economy As An Evolving System II”, Derl: W. Brian Arthur, Steven N. Durlauf, David Lane, Addison-Wesley, Reading, 1997, ss.15-44.

²⁷⁴ HALLEGATTE, Stéphane; GHILL, Michael; DUMAS, Patrice; HOURCADE, Jean-Charles, “Business Cycles, Bifurcations and Chaos in Neo-Classical Model with Investment Dynamics”, Journal of Economic Behavior & Organization, Cilt 67, Sayı 1, Temmuz 2008, ss.57-77.

spektral analiz için sorun olmaması için pek çok çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan yeni çalışmalar spektral tekniklerin, zaman düzleminde standart tekniklerle yapılan analizlere göre daha zengin tanımlamalar sağlamıştır. Bu nedenle, spektral teknikler ile zaman düzlemindeki analizler arasında farklılıkların olması normaldir, ancak, bu iki tekniği analizde farklılaştırma anlayışından çok, tamamlayıcı olma anlayışını kullanmak her zaman için analizcilere faydalı olacaktır. Bununla beraber, finans literatüründeki pek çok spektral analiz çalışması, hisse senedi fiyatları değişiminin düz veya düze yakın bir spektra olduğunu, bunun da beyaz gürültü özelliği gösterdiğini belirtmektedir. Örneğin, Samuelson (1973) uygun şekilde iskonto edilmiş hisse senedi fiyatlarının, Etkin Piyasalar Hipotezine uyum sağladığını belirtmiştir. Granger ve Morgenstern (1963), Godfrey, Granger ve Morganstern (1964), Cooper (1973) ve Praetz (1973 ve 1979) de çalışmalarında benzer sonuçlar almışlardır. Ancak, Etkin Piyasalar Hipotezine karşı ilk karşı çıkan Shiller (1981) ile Leroy ve Porter (1981), daha sonraları da Campbell ve Mankiw (1987), Poterba ve Summers (1987) ile Lo ve Mackinlay (1988) gibi varyans oranı testleri benzeri yöntemleri, zaman düzlemindeki analizleri için kullanan bilim insanları olmuşlardır. Artık hisse senedi fiyatlarının rastgele değiştiği genel kabul görmediğinden, işlem verilerinin spektral analizi üç sebepten dolayı gecikmiştir. Zaman düzlemi ve frekans düzlemi ile yapılan analizler arasındaki farklılıklar, frekans düzleminde yani spektral analiz tekniğindeki gelişmeler ile daha da belirginleşmiştir²⁷⁵.

İlk dönem spektral teknikleri kullanan analizler, günlük, haftalık veya aylık verileri kullanırken, spektrumun kesin olarak gösterimine imkân vermiyorlardı. Bunun sebebi, günlük, haftalık veya aylık verilerin, incelenen seriye yapay bir beyaz gürültü ekleyebileceğidir. Dolayısıyla, zaman serileri çalışmaları Etkin Piyasalar Hipotezini ret edebilirken, ilk dönem spektral analiz çalışmaları bu hipoteze uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Buradaki temel problem, sürece ait tüm veriyi kullanmamış olmanın getirdiği veri kaybı ve bu kaybın spektruma yansımadır.

Diğer bir farklılık ise, zaman düzleminde yapılan analizlerde parametrik özelliklerin eksik olmasıdır. İlk bakışta, spektrum düz gibi görünse bile, frekans düzlemindeki analizler fiyat değişimlerinin spektrumu, verinin hangi derecede beyaz

²⁷⁵ SELLA, Lisa; VIVALDO, Gianna; ANDREAS, Groth; GHIL, Michael; "Economic Cycles and Their Synchronization: A Survey of Spectral Properties", Working Paper No 105.2013, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano, Aralık 2013.

gürültü olmadığı ile ilgilidir ve bazıları yüksek frekanslı bileşenlerden oluşurken, bazıları da birden fazla spektral zirveye sahiptir. Gerçek işlemlere ait veriler kullanıldığı zaman, toplam periyodogram, fiyat değişimlerinin beyaz gürültü olduğunu ret etmektedir ve spektrumun pek çok frekansta sıfırdan farklı olduğunu göstermektedir.

Üçüncü farklılık ise, ilk dönem spektral analizler fiyat değişimleri ile hacim arasındaki ilişkiye ait bir kanıt bulmazken, zaman serileri yöntemleri fiyat değişimleri ile hacim arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, bazı güncel spektral analiz çalışmalarında fiyat değişimleri ile hacim arasındaki eşzamanlı bir korelasyon bulurken, zaman serileri yöntemleri fiyat değişimleri ile hacim arasında gecikmeli bir ilişki olduğunu göstermiştir²⁷⁶.

²⁷⁶ MCCULLOUGH, Bruce D., "A Spectral Analysis of Transactions Stock Market Data", The Financial Review, Cilt 30, Sayı 4, Kasım 1995, ss.823-842.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SPEKTRAL YÖNTEM İLE BİST100 ENDEKSİNİN ANALİZİ

3.1. BORSA İSTANBUL (BİST)

Ülkemizde ise, borsalar Sermaye Piyasası Kanunu'na göre şöyle tanımlanmıştır. Sermaye Piyasası araçlarının işlem göreceği borsalar, özel kanunlarında yazılı esaslar çerçevesinde teşkilâtlanarak menkul kıymetlerin ve diğer sermaye piyasası araçlarının güven ve istikrar içinde, serbest rekabet şartları altında kolayca alınıp satılabilmesini sağlamak ve oluşan fiyatları tespit ve ilân etmekle yetkili olarak kurulan kamu tüzel kişiliğine haiz kurumlardır²⁷⁷. Borsalar, Sermaye Piyasası Kurulu'nun teklifi üzerine Bakanlık'ın izni ile kurulur.

Burada borsaların temel yapısı anlatılarak, hisse senetlerinin analizinin yapılmasında, borsaların çalışmasının ve borsa düzenlemeleri ile ilgili kanun ve kuralların hisse senetlerine etkilerinin daha iyi anlaşılmasında faydalı olacaktır. Bu bölümde sadece Borsa İstanbul hakkında değil, diğer ülke borsaları ile ilgili bazı kısa bilgiler de verilecektir.

3.1.1. Borsa İstanbul'un (BİST) Yapısı ve Özellikleri

Bu nedenle de bu bölümde, Spektral Analiz kurgusunu doğru tasarlamak için Borsa İstanbul'un yapısını ve hangi faktörlerden hangi şartlar altında etkilendiğini irdelenecektir.

3.1.1.1. Tarihsel Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri

28 Temmuz 1981 yılında kabul edilip 30 Temmuz 1981 tarihinde Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren 2499 sayılı Sermaye Piyasası Kanunu, malî sistemdeki pek çok karmaşıklığa son vermek amacı ile çıkartılmıştır²⁷⁸. Gerçek anlamda borsa faaliyetleri ise, Sermaye Piyasası Kurulu'nun (SPK) kurulması ve 3 Ocak 1986 tarihinde hisse senetleri piyasasında ilk işlemin gerçekleştirilmesi ile başlamıştır. 1989 yılında ise, 32 sayılı kararla yabancı yatırımcılara, yatırım yapabilmeleri, sermaye artırılabilmeleri, kâr paylarının yurtdışına götürülebilmeleri ve sermaye kazançları

²⁷⁷ Sermaye Piyasası Kanunu, Kanun No: 2499, Madde-40 (Değişik: 15/12/1999-4487/18 md.).

²⁷⁸ SPK, Sermaye Piyasası Mevzuatı, 3ncü Baskı, SPK Yayın No 1, Ankara, 1994, s. 35.

üzerindeki vergilerin durdurulması gibi imkânlar getirilerek sermaye piyasasının daha hızlı büyümesinin yolu açılmıştır.

Tablo 3.1: Borsa İstanbul'un Kilometre Taşlarıyla Tarihsel Gelişimi

Tarih	Tarihsel Gelişim
3 Ocak 1986	İlk işlem günü. Takas süresi işlemi izleyen ikinci gündür (T+2).
17 Kasım 1987	Çok fiyat sürekli müzayede sistemine geçilmesi.
6 Ekim 1990	Takas süresi bir gündür. Takas süresi iki günde bir güne indirilmiştir (T+1).
22 Ekim 1990	Lot altı işlemlerin başlaması.
2 Ocak 1991	Bileşik endeksin hesaplanmasında "piyasa ağırlıklı" yöntemin yerine, "halka açık piyasa değeri" ağırlıklı yöntemin kullanılmaya başlanması.
4 Ocak 1993	Rüçhan Hakkı Kuponu Pazarı ve Yeni Hisse Senedi Pazarı açılışı.
3 Aralık 1993	Elektronik Alım-Satım Sistemi, 50 adet düşük hacimli hisse senedi için kullanılmaya başlanmıştır. İlk bilgisayarlı işlem.
14 Temmuz 1994	Çift seans uygulamasına geçilmiştir. Takas süresi bir günden iki güne uzatılmıştır (T+2).
21 Kasım 1994	Tam otomasyon. Piyasadaki tüm hisse senetleri Elektronik Alım-Satım Sistemi'nde işlem görmeye başlamıştır.
23 Aralık 1994	Ulusal Pazar'ın kuruluşu.
2 Ocak 1995	Bölgesel Pazar'ın kuruluşu.
6 Şubat 1995	Toptan Satışlar Pazarı'nın kuruluşu.
3 Nisan 1995	Yeni Şirketler Pazarı'nın kuruluşu.
27 Kasım 1996	Gözaltı Pazarı'nın kuruluşu.
31 Temmuz 2000	Uzaktan erişimde ilk işlem.
13 Ağustos 2001	Seans sürelerinin uzatılması.
6 Aralık 2001	ExAPI üzerinden emir gönderimi.
14 Nisan 2003	Fiyat adımlarının küçültülmesi.
29 Ocak 2004	Fiyat istikrarını sağlayıcı işlemlere ilişkin uygulamaların başlatılması.
1 Kasım 2004	Borsa Yatırım Fonları Pazarı'nın kuruluşu.
2 Şubat 2007	Açılış Seansı uygulaması.
7 Eylül 2007	İkinci seans saatinin uzatılması
13 Ekim 2008	Birinci seans saatinin uzatılması.
19 Ekim 2009	İkinci seans saatinin uzatılması.
13 Kasım 2009	Kurumsal Ürünler Pazarı'nın açılması. İkinci seansta Açılış Seansı uygulaması.
30 Nisan 2010	Seans saatleri değişikliği.
26 Temmuz 2010	Piyasa Yapıcılı Sürekli Müzayede yöntemine geçilmesi.
1 Ekim 2010	A, B, C sınıflandırması. Tek fiyat işlem yönteminin başlaması. Gözaltı Pazarında seans süresi değişikliği.
8 Ekim 2010	Emir iptalinin koşulsuz serbest bırakılması. Sorgularda alıcı ve satıcı tarafların gösterilmemeye başlanması.
1 Kasım 2010	Fiyat adımlarının küçültülmesi.

Kaynak: Borsa İstanbul, 2015

Tablo 3.2: Borsa İstanbul'un Rakamlarla Tarihsel Gelişimi

Yıllar	İşlem Gören Şirket Sayısı	Toplam İşlem Miktarı (Milyon ABD)	Toplam İşlem Hacmi (000)
1986	80	13	3,273
1987	82	118	14,731
1988	79	115	31.679
1989	76	775	238,056
1990	110	5.851	1.537,387
1991	134	8.536	4.531,153
1992	145	8.567	10.285,263
1993	160	21.771	35.249,007
1994	176	23.202	100.062,030
1995	205	52.357	306.253,734
1996	228	37.737	390.917,238
1997	258	58.104	919.783,736
1998	277	70.396	2.242.531,233
1999	285	84.034	5.823.858,228
2000	315	181.934	11.075.884,720
2001	310	80.400	23.938.148,750
2002	288	70.756	33.933.250,900
2003	285	100.165	59.099.780,410
2004	297	147.755	69.614.651,500
2005	306	201.763	81.099.503,190
2006	322	229.642	91.634.552,160
2007	327	300.842	116.824.184,900
2008	326	261.082	114.796.860,900
2009	325	316.326	205.986.913,300
2010	350	425.747	204.083.247,400
2011	375	423.851	202.149.186,200
2012	422	348.606	174.290.128,500
2013	438	431.273	198.857.864,700
2014	437	399.145	207.100.459,600
2015- 8 Ocak 2015	437	9.205	4.215.406,609

Kaynak: Borsa İstanbul, 2015

1990'lı yıllarda ayrıca yapılan özelleştirmeler, yatırım fonlarının, yatırım ortaklıklarının, sosyal güvenlik kurumlarının, sigorta şirketlerinin ve yabancı kurumsal yatırımcıların ekonomik hayata girmesine sebep olmuştur (Özkurt, 2008).

Tablo 3.1'de Borsa İstanbul'un tarihsel gelişimi verilmiştir. Bu tablodaki kilometre taşları aynı zamanda, bu çalışmanın konusu olan spektral analizin inceleme dönemleri için de temel teşkil edebilir. Örneğin, takas süresinin bir gün olduğu zaman dilimi ile iki gün olduğu zaman dilimi ayrı ayrı incelenebilir. Ayrıca, mevzuatta yapılan bu değişiklikler daha sonraki Hukuki Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri bölümünde de

inceleneyeceği gibi, hisse senedi getirileri üzerinde etkili olabilir. Dolayısıyla, bu etkilerin tespiti için doğru modellerin kurgulanıp, test ve analizlerin yapılması gereklidir.

Tablo 3.2’de ise Borsa İstanbul’un tarihsel gelişmesi rakamlarla verilmiştir. Bu tablo BİST’in tarihsel gelişimi, işlem gören firma sayısı, ABD Doları cinsinden işlem miktarı ve işlem hacmi gösterilmiştir.

Zaman serileri, bilgileri zaman düzleminde inceler. Bu incelemeyi yapabilmek için verilerin yeterince uzun bir zaman aralığında ve doğru ve tüm faktörleri içerecek şekilde toplanmış olması gerekir. Spektral analiz çalışmasının da doğru yapılabilmesi için yeterli zaman serisine ihtiyaç vardır. Ancak, BİST’in yeterince uzun bir veriye sahip olmaması verimli bir analiz yapılmasını zorlaştırabilir. Bu konu, çalışmanın analiz bölümünde daha belirgin olarak görülecektir.

3.1.1.2. Ekonomik Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri

Özellikle hisse senedi, hisse senedi ağırlıklı yatırım fonları, hisse senedi opsiyonları, hisse senedi endeksi vadeli sözleşmeleri gibi öz sermayeye dayalı menkul kıymetler, ekonomik koşullara duyarlıdır. Ekonomik koşullar, genellikle, iş döngüsü veya konjonktür (*business cycle*) ile ifade edilir. İş döngüsü, milli gelir, sanayi üretimi, işsizlik gibi ekonomik değişkenlerin güncel durumunu yansıtır. Ekonomideki genişleme dönemlerinde, işletmelerin kârları arttığından spekülasyon hisse senetleri başta olmak üzere hisse senetlerinin fiyatları yükselme eğilimine girmekte, daralma dönemlerinde ise hisse senetlerinin fiyatları düşme eğilimine girmektedir.

Türkiye Ekonomisi’nde yaşanan gelişmeler Borsa İstanbul’a etki yapan en önemli etkenlerden biridir. BİST’in ekonomik verilerle olan bağlantısını analiz etmek için, öncelikle borsaların gelişmişlik düzeyine etki eden ekonomik faktörleri değerlendirmek gerekir. Bu faktörler; piyasa kapitalizasyonu (piyasaya kota şirketlerin toplam piyasa değeri), işlem hacmi, piyasaya kota olan şirket sayısı, sermaye piyasasına gelen yurtiçi tasarrufların milli hasılaya oranı, yerel ve kurumsal yatırımcı tabanı, yoğunlaşma, yabancıya açıklık durumu, türev piyasaların varlığı, piyasada işlem gören menkul kıymet çeşitliliği, dışa açıklık derecesi, yeni ihraç miktarı, ortalama şirket büyüklüğü, teknolojik altyapı, borsanın kuruluş tarihi gibi ölçütlerdir (Elyak, 2008).

Ekonomi teorisine göre, menkul kıymetler ile ekonomik faaliyetler arasında güçlü bir ilişki mevcuttur. Bu ilişkinin en temel kuralı, menkul kıymetlerin iskonto

edilerek bugünkü değerinin hesaplamasıdır. Hisse senetlerinin ekonomik faaliyetler üzerinde nasıl etki ettiğine yönelik üç farklı teori bulunmaktadır.

Bu alanda pek çok teorik çalışma olmasına rağmen, ekonomi dünyasındaki genel görüş, ülke ekonomisindeki değişikliklerin hisse senedi fiyatları üzerindeki etkileri son derece önemli olmasıdır. Özellikle faiz hadleri, döviz kuru ve para arzı hisse senedi fiyatlarının tespitinde önemli bir yere sahiptir. Hisse senetlerinin fiyatlarını dolaylı olarak etkileyen diğer ekonomik faktörler ise, kurumlar vergisi haddindeki değişiklikler, hükümet harcamalarındaki değişiklikler, gayri safi millî hasıladaki değişiklikler ve fiyatlar genel seviyesi değişiklikleridir²⁷⁹. Makroekonomik faktörlerin mi borsaları, yoksa borsaların mı ekonomiyi etkilediği pek çok bilimsel çalışmalara konu olmakla beraber, değişik zaman, yer ve şartlar için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Borsayı etkileyen makroekonomik faktörler arasında enflasyon, faiz oranı, döviz kuru, para arzı, para politikaları ve benzerleri bulunmaktadır.

Ülkemizde yapılan bir çalışmaya göre, tahmini enflasyon oranları ile nominal hisse senedi getirileri arasında pozitif bir ilişki vardır. Yine tahmini enflasyon oranları ile reel hisse senedi getirileri arasında negatif bir ilişki söz konusudur. Bu durum, hisse senedi fiyatları üzerinde enflasyonun nazari olarak şişirici bir etmen olduğunu göstermektedir. Buna karşın, reel hisse senedi getirileri ve enflasyon arasında gerçekleşen negatif ilişki temelde enflasyonun bu getiriler üzerinde olumsuz bir etki yarattığını göstermektedir. Ancak, bu ilişkiler istatistiki olarak anlamlı değil ve göz ardı edilebilecek kadar düşüktür²⁸⁰.

Borsa İstanbul üzerine yapılan pek çok araştırmada, cari dönem faiz oranının BİST endeksi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Bazı araştırmalarda, faiz oranlarının yüksek olduğu dönemde bu ilişkinin daha güçlü olduğu, istikrar politikası sonrası düşen faizlerle birlikte bu ilişkinin zayıfladığı görülmüştür²⁸¹.

Ülkemizde son yıllarda para ve sermaye piyasalarında, yabancı sermaye üzerindeki kontrollerin azaltılması ve daha esnek kur rejimlerinin uygulanmaya başlanması gibi gelişmeler, döviz kurları ile hisse senedi fiyatları arasındaki ilişkilere

²⁷⁹ KANALICI, Hülya, “Hisse Senedi Fiyatlarının Tesbiti ve Tesir Eden Faktörler”, Sermaye Piyasası Kurulu Yayın No 77, Ankara, 1997, s.52.

²⁸⁰ SÖNMEZ, Cahit; BERİK, Alparslan, “Hisse Senedi Getirileri İle Tahmini Enflasyon Arasındaki İlişki, Doç. Dr. Yaman Aşıkoğlu'na Armağan”, Sermaye Piyasası Kurulu Yayını, No 56, Ankara, 1996, ss. 205-225.

²⁸¹ KARAMUSTAFA, Osman; KÜÇÜKKALE, Yakup, “Türkiye’de Kriz Döneminde Kur-Faiz-Borsa İlişkilerinin Dinamik Analizi”, Banka-Millî ve Ekonomik Yorumlar, Sayı 11, 2002, ss.47-56.

yönelik çalışmaların önemini artırmıştır. Aynı zamanda, uluslararası finansal sistemin son derece hızlı değişmesi, döviz kuru ve menkul kıymetler arasındaki ilişkileri, eskiye oranla daha karmaşık hale getirmiştir. Uluslararası yatırımlar ya da sermaye girişi ve çıkışı açısından bakıldığında, döviz kurunda meydana gelebilecek değişiklikler, yurt içi piyasadaki hisseleri diğer ülkelerdeki hisselerle karşılaştırıldığında daha cazip hale getirebilir. Döviz kuru değişkenleri hisse senedi piyasası ile pozitif bir korelasyona sahiptir²⁸². Döviz ve hisse senedi birbirine rakip yatırım araçları olduğu için döviz fiyatındaki yükselme, hisse senedine olan talebi düşürecektir. Böylece hisse senedinin değeri düşecek ve hisse senedi fiyatında döviz kurundaki yükselme nedeniyle düşme meydana gelecektir. Döviz kurunda önemli bir beklentinin olmaması durumunda ise, yatırımcılar hisse senedi piyasasına yönelecektir. Bu durumda hisse senedine olan talep artacaktır. Böyle bir durumda da hisse senedinin değeri artacak ve sonuçta da hisse senedi fiyatında yükselme meydana gelecektir²⁸³. Ülkemizde döviz özellikle de ABD Doları alternatif bir yatırım aracı olarak düşünüldüğünden, pek çok araştırmada ABD Doları ile BİST arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu çalışmalarda, BİST'nin gerek kriz öncesi, gerek kriz dönemi ve gerekse kriz sonrası, bütün dönemlerde Dolar'ı etkilediği tespit edilmiştir. Kriz öncesi dönemlerde Dolar, BİST'i etkilemiş olsa da, bu etki krizle birlikte kaybolmuş ve tekrar kurulmamıştır²⁸⁴. Bazı araştırmalarda bu ilişkinin bir dönem gecikmeli olduğu da tespit edilmiştir.

Dolar kuru, ayrıca ithalat ve ihracat yapan ülkeleri, doğrudan direk yatırım yapacak ülkeleri de ilgilendireceği için tahmin edilmesi önemli bir konudur. Türkiye gibi hammadde ithal eden ülkelerde rekabet gücünü belirleyici bir faktör olmaktadır. Uluslararası spekülörlerin finansal hareketleri de büyük miktardaki döviz kurlarının ülkelere girişi ve çıkışı ekonomide dalgalanmalara yol açmaktadır. Bir diğer konu da, döviz kuru ile borçlanan firmaların döviz kurundaki dalgalanmalardan etkilenmesidir²⁸⁵.

²⁸² JORION, Philippe, "The Pricing of Exchange Rate Risk in the Stock Market", Journal of Financial and Quantitative Analysis, Cilt 26, No 3, 1991, ss.363-376.

²⁸³ PALANLI, İsmet, "Pay Senedi Değerini Belirleyen Firma Dışı Etkenlerin İMKB Ulusal 100 Endeksinin Değişimi Üzerindeki Etkileri", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 1998, s.28.

²⁸⁴ KARAMUSTAFA, Osman; KÜÇÜKKALE, Yakup, "Türkiye'de Kriz Döneminde Kur-Faiz-Borsa İlişkilerinin Dinamik Analizi", Banka-Milli ve Ekonomik Yorumlar, Sayı 11, 2002, ss.47-56.

²⁸⁵ HACIHASANOĞLU, Erk, "Menkul Kıymet Piyasalarında Volatilitenin Modellenmesi. İMKB için bir deneme", Sermaye Piyasası Kurulu, Sayı 139, Ankara, 2003, ss.31-32.

Hisse senedini etkileyen makro faktörlerden biri de para arzıdır. Yapılan araştırmaların çoğu, para arzı ile hisse senedi fiyatı arasında güçlü bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir.

Parasal aktarım mekanizması çerçevesinde, para politikasının ekonomiyi etkileme kanallarından biri de hisse senedi piyasasıdır. Para politikası beklentilerinin BİST üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalarda, gösterge faizinin para politikası beklentileri paralelinde bu beklentiler oluşur oluşmaz hareket ettiğini, PPK'nın politika faiz kararının açıklanmasının ardından sadece beklenmeyen faiz değişikliğine bir tepki verildiği tespit edilmiştir. Elde edilen tepki katsayısı, T.C. Merkez Bankası'nın zaman içerisinde açıklık ve şeffaflık konusunda attığı adımlarla tutarlı olarak 0,4'ten 1,6'ya kadar yükselmiş, son finansal krizle birlikte 0,8 değerine düşmüştür. Etkin piyasa hipotezi doğrultusunda elde edilmesi gereken teorik değer bir olduğu düşünülürse, etkin piyasa hipotezinin faiz oranları açısından ülkemizde geçerli olduğu görülürken, aynı etkinliğin borsa endeksi için henüz geçerli olmadığı sonucu elde edilmiştir²⁸⁶.

Döviz ve hisse senedi gibi altını da rakip bir emtia olarak kabul etmek mümkündür. Bir ekonomide belirli ihtiyaçlar karşılandıktan sonra, gelirden artan tasarruflar eğer enflasyon söz konusu ise, çeşitli yatırım alternatiflerine yönelir. Ülkemizde tasarrufların önemli bir bölümü, enflasyondan ve riskten korunma güdüsüyle, altına yönelmektedir. Ülkemizde halkın en çok kullanıldığı yatırım aracı altındır. Tasarrufların altına yönelmesinin tek nedeni kuşkusuz diğer yatırım araçlarının yeterince tanınmaması değildir. Herhangi bir ülkede var olabilecek siyasi istikrarsızlıklar, iç savaş ortamı, finansal sisteme duyulan güvensizlik de altına olan talebi artıracaktır*. Ülkemizde altın sektöründeki yeniden yapılanma çalışmalarının en önemlisi İstanbul Altın Borsası'nın (İAB) kurulmasıdır. İAB'nin kurulması, rekabetçi fiyat oluşumunu sağlamış ve yerel altın fiyatlarıyla dünya altın fiyatları arasındaki farklılık yok edilmiştir. Bugün bireysel yatırımcılar, yatırım fonları ve yatırım ortaklıkları, İAB Kıymetli Madenler Piyasası'nda dünya fiyatlarından altın alabilirler veya satabilirler. Altın, tüm dünyada enflasyona karşı korunma aracı olarak görülmektedir. Altın, diğer tüm yatırım araçları ile negatif korelasyona sahip tek yatırım

²⁸⁶ DEMİRALP, Selva; YILMAZ, Kamil, "Para Politikaları Beklentilerinin Sermaye Piyasaları Üzerindeki Etkisi", TÜSİAD-Koç University Economic Research Forum Working Paper Series, No 1008, Mart 2010.

* Bankaların art arda iflâs etmesi, devletin iç borçlar konusunda konsolidasyona gitmesi, sabit kur sisteminin getirilmesi gibi durumlar.

aracıdır. Bu durum, altın içeren bir portföyün altın içermeyen bir portföye oranla daha az fiyat değişim riskine sahip olmasını sağlamaktadır. Fiyat değişim riskinin önemli derecede azalması, portföy kazancının artmasına neden olur²⁸⁷.

Uygulanan vergi politikaları, tasarruflarını sermaye piyasasında değerlendirmek isteyen yatırımcıları yakından ilgilendirmektedir. Bu piyasada vergiler, değişik amaçlar için uygulamaya konmaktadır. Sermaye piyasasında dolaysız vergiler (gelir ve kurumlar vergisi) genellikle bu piyasadan elde edilen kazançları vergilendirmek suretiyle gelir sağlamak için kullanılırken, dolaylı vergilerde (işlem vergisi gibi) piyasada yapılan işlemlerin vergilendirilmesiyle piyasayı düzenlemek gibi iktisadî bir amaç için kullanılmaktadır²⁸⁸.

Yirminci yüzyılın en önemli ekonomik gelişmelerinden birisi, iletişim teknolojisindeki gelişmelerin de etkisiyle piyasaların artık yerel olmaktan çıkarak birbiriyle bütünleşmesi ve uluslararası nitelik kazanmasıdır²⁸⁹. Bu konuda yapılan örnek bir araştırmada, Türkiye'nin AB'ye üyeliği yolunda yaşanan gelişmelerin Türkiye piyasaları ile AB piyasaları arasındaki korelasyon düzeyini artırdığını ortaya koymaktadır. Uluslararası portföy çeşitlendirme fırsatlarının, dünya piyasalarından kopuk sermaye piyasalarında, dünya piyasalarıyla entegre olmuş piyasalara göre daha fazla olduğu düşünüldüğünde, çalışmada ortaya çıkan yüksek korelasyon düzeyi, AB-Türkiye arasındaki uluslararası portföy yatırımlarının yatırımcılar açısından çeşitlendirme potansiyelinin azaldığı veya azalacağı anlamına gelmektedir. Buna göre, AB-Türkiye arasındaki uluslararası yatırımların portföy riskleri de artacaktır²⁹⁰.

Spekülasyon, sermaye kazancı edinmek üzere bir varlığın satın alınması olarak değerlendirilmektedir. Manipülasyon ise, menkul kıymet piyasalarında yüksek kazanç elde etmek amacıyla, hisse senetleri fiyatlarını yapay olarak yükseltmek, düşürmek veya belli bir seviyede tutmak için menkul kıymet işlemleri yapılmasıyla oluşmaktadır²⁹¹. Manipülatif işlemler sonucu oluşan yapay fiyat hareketleri, ikincil piyasaların, birincil piyasalara likidite ve fon sağlama fonksiyonunu zayıflatmakta, piyasadaki şirketlerin

²⁸⁷ ÇITAK, Serdar, "Dünya Altın Piyasaları, İstanbul Altın Borsası ve Risk Yönetiminde Altın", İMKB Dergisi, Yıl 3, Sayı 12, Ekim-Kasım-Aralık 1999, ss.51-90.

²⁸⁸ KANALICI, Hülya, "Hisse Senedi Fiyatlarının Tesbiti ve Tesir Eden Faktörler", Sermaye Piyasası Kurulu Yayını, No 77, Ankara, 1997, s.52.

²⁸⁹ İMKB Araştırma Müdürlüğü, "Uluslararası Portföy Hareketlerinde Portföy Yatırımları ve Türkiye", İMKB Araştırma Yayınları, No 3, İstanbul, 1994, s.8.

²⁹⁰ SARITAŞ, Hakan, "Türkiye ve Avrupa Birliği Piyasaları Arasındaki Korelasyon Düzeyinin İncelenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt 22, Sayı 2, 2007, ss.325-337.

²⁹¹ YILMAZ, Ejder, "Hukuk Sözlüğü", Ankara, 2003.

piyasaya karşı duyarlılıklarını yok ederek yeni yatırımcıların piyasaya girmelerini olumsuz yönde etkilemektedir. BİST’de manipülasyon, SPK Kanunu’nun 47nci maddesinin A bendinin ikinci ve üçüncü alt bentlerinde birer suç tipi olarak düzenlenmiştir. 2013 yılında değişen SPK kanunuyla birlikte yetkileri güçlenen kurulun hareket alanı da genişlemiş, SPK bu çerçevede bir yandan önleyici tedbirler getirirken, diğer yandan cezai tedbirlerle piyasaya sızmaları önlemeye çalışmaktadır. Kurul, AB normlarına uygun olarak ekonomik suça ekonomik ceza prensibini benimsediği için, değişen kanunla yüksek para cezaları kesmekten çekinmemektedir. Ancak, önceleri fiktif alım satım emirleri, emirlerin iptali, hesap hareketleri, söylentiler, asılsız haberler, yorum ve raporlar yöntemleriyle gerçekleştirilen manipülasyonlar da artık halka arzlar, yanıltıcı bilânçolar, sermaye artırımları, örtülü kaynak artırımları, şirket birleşmeleri gibi daha tümleşik yöntemlerle gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla cezalar caydırıcı olsa bile manipülatörlerin ve spekülâtörlerin de boş durmadığı ve sürekli yeni alternatifler geliştirdiği ortamda, kalıcı çözüm ancak yatırımcıların kendilerinin doğru ve etkin risk analizi yapabilecek eğitim alarak kendilerini güncelleştirmeleridir. Borsa ustası Peter Lynch’e göre, sıradan her vatandaş yılda en az iki veya üç kez parlak bir yatırım fırsatı ile karşılaşılıyor. Bu fırsatları görüp değerlendirebilmeleri ise en önemli noktadır. Bu gerçek, BİST yatırımcısı için de geçerlidir. Prim potansiyeli olan düşük riskli hisseler yerine, kulaktan dolma yüksek riskli hisselerde şansını kullanan yatırımcı çoğu zaman hüsrana uğramaktadır. Dolayısıyla, manipülasyonla mücadelede başarı, yatırımcının bilinç seviyesiyle doğrudan ilişkilidir²⁹².

Bir ekonomide yaşanacak büyüme ile hisse senetleri fiyatları arasında bir ilişki olacağı açıktır. Artan üretim doğal olarak şirketlerin kaynak akışlarını artıracak, bu da bilançoların güçlenmesini ve kârlılığın artması sonucunu doğuracaktır. Bu nedenle, ekonomik aktivite ile hisse senedi fiyatları arasında pozitif bir ilişki beklenmektedir. Ekonomik aktivite ölçütü olarak genelde gayri safi millî hâsıla ve sanayi büyüme endeksi kullanılmaktadır²⁹³.

Borsa İstanbul üzerine yapılan bir çalışmada, yatırımcı psikolojisinin hisse senetleri getirilerini tahmin edebileceğini ortaya koymaktadır. Yatırım ortaklıkları iskontosu, yatırım fonları fon akışı ve özellikle yabancı yatırımcıların yatırım

²⁹² AKTAŞ, Zeynep, “Manipülatörler, şirketler, beklentiler”, Fortune Türkiye, Haziran 2014, s.66.

²⁹³ HACIHASANOĞLU, Erk, “Menkul Kıymet Piyasalarında Volatilitenin Modellenmesi. İMKB için bir deneme”, Sermaye Piyasası Kurulu, Sayı 139, 2003, Ankara, s.33.

davranışları, hisse senedi getirilerinin ne yönde ve ne derecede hareket edeceğini önemli ölçüde gösterdiği incelenmiştir²⁹⁴.

3.1.1.3. Coğrafi Durumdan Kaynaklanan Özellikleri

Borsa İstanbul faaliyet gösterdiği İstanbul dışına pek çıkamamış Anadolu'daki yatırımcıları kucaklayamamıştır. Aynı şekilde, hisse senetleri Borsa'da işlem gören firmaların çok büyük kısmı İstanbul merkezlidir. Oysa, Anadolu'da finansmana ihtiyacı olan ve Borsa'da hisse senetleri rahatlıkla işlem görebilecek çok sayıda firma mevcuttur. Ancak, bu firmalarının çoğunluğunun aile şirketi olması, kurumsallaşmadan ve profesyonel yönetimden uzak olmalarının yanı sıra, Borsa yönetiminin de onları halka açılmaya davet edici girişimlerde bulunmamaları BİST'in gelişimine ve sermayenin tabana yayılmasına engeldir.

BİST üzerine yapılan bir çalışmada, merkezleri aynı şehirde olan şirketler arasında güçlü bir birlikte hareket (eş-hareket) etme davranışı izlenmiştir. Ekonominin temel kavramlarının açıklayamadığı bu yerel birlikte-hareketlilik, finansal entelektüellikle açıklanmaya çalışılmıştır. Finansal entelektüellik daha iyi bir risk paylaşımını sağlamaktadır. Daha bilinçli yatırımcılar borsada yatırım yapmaya meyillidirler. Ayrıca, coğrafik bölgelerdeki nüfusa göre de bu finansal entelektüellikte farklılıklar tespit edilmiştir. Şehirlerde yatırımcıların nüfusa oranı arttıkça, yerel eş-hareketlilik de artmıştır. Benzer olarak, kurumsal yatırımcıların toplam yatırımcıya oranının artması ile de eş-hareketliliğin arttığı gözlenmiştir. Ancak, yabancı yatırımcının toplam yatırımcıya oranının arttığı hisse senetlerinin eş-hareketliliğin azaldığı dikkat çekmiştir. Yerli yatırımcıların BİST'teki faaliyetleri arasında ilişki varken, yabancı yatırımcılar için negatif ilişki söz konusudur. Bu "*home bias*" teorisi ile açıklanabilir, zira yerel yatırımcılar yerel olarak bilgilere daha kolaylıkla ulaşabilecekleri gibi, bilgileri yerel irtibatlar, sosyal gruplar, söylentiler veya "*noise trading*" ile de paylaşmaktadırlar. Dolayısıyla, dünya genelinde de geçerli bir teori olan "*home bias*" teorisinin BİST için de geçerli olduğu görülmüştür²⁹⁵.

²⁹⁴ CANBAŞ, Serpil; KANDIR, Serkan Yılmaz, "Yatırımcı Duyarlılığının İMKB Sektör Getirileri Üzerindeki Etkisi", Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt 22, Sayı 2, 2007, ss.219-248.

²⁹⁵ AKSOY, Mine, "The Geography of Borsa Istanbul Stock Returns", Muhasebe ve Finansman Dergisi, Ocak 2014, ss.102-121.

3.1.1.4. Siyasi Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri

Finansal piyasaları etkileyen siyasi faktörler, seçim kanunu, vetolar ve resmî kuruluşlar, gayri resmî kuruluşlar olarak değerlendirilebilir.

Türkiye’de, 24 Ocak 1980 kararları ile başlatılan ekonomik serbestleşme sürecinin devamı niteliğinde olan ve finansal piyasaların serbestleşmesinin yasal altyapısını oluşturan 32 sayılı karar 1989 yılında yürürlüğe girmiş ve yurtiçi piyasalar hiç bir sınırlama olmadan yabancı sermaye akımlarına açılmıştır. Bundan önce ise, 28.07.1981 tarihinde yürürlüğe giren 2499 sayılı Sermaye Piyasası Kanunu ile düzenlenmiş ve 1986 yılında İMKB (yeni adıyla BİST) kurulmuştur. Bu iki önemli düzenlemeyle, Türkiye’de sermaye piyasasının oluşumu başlamıştır. Ancak, aynı dönemlerde kamu finansman politikası olarak borçlanmanın seçilmesi, yeni oluşum aşamasında olan ve finansal serbestleşme ile birlikte rekabet gücüne sahip olması gereken sermaye piyasasının sağlıklı bir şekilde yapılması ve gelişimi üzerinde olumsuz etkiler doğurmuştur. Özellikle, gelişmekte olan bir sermaye piyasasında oluşan kaynakların önemli bir kısmına iç borçlanma yoluyla kamu kesiminin el koyması, faiz oranları, döviz kurları ve özel yatırımlar gibi bazı ekonomik büyüklüklerin rekabetçi piyasa koşullarında oluşmasını engellemiştir²⁹⁶.

Türkiye’de 1990 sonrası dönemde, anapara ve faizden oluşan iç borç stokunda artış olmuştur. Bu kamu kesiminin finansmanında vergilendirme ve emisyon yerine kolay ve popülist maliye politikası olarak iç borçlanmanın tercih edildiğini göstermektedir. 1994 yılında meydana gelen ekonomik kriz, iç borç stokunu önemli ölçüde artırmış ve krizin yansımaları 1996’lı yıllara kadar devam etmiştir. 1997-1999 döneminde meydana gelen artışların nedeni ise, dünyada yaşanan ekonomik buhranın da etkisiyle, ülkemizde yaşanan kriz ortamıdır (1997 Güneydoğu Asya, 1998 Rusya krizleri). Ağustos ve Ekim 1999 depremlerin de finansal piyasalar üzerinde olumsuz etkisi olmuştur. 2001 yılındaki olağanüstü artış (%298) ise, uygulanan kur sisteminin kriz nedeniyle bozulması ve bu bozulmanın iç borçlanma anapara ve faizlerini çok kısa sürede artırmasıdır. 5 Nisan 1994’te başlatılan istikrar programı bir yıl sonra uygulamadan kaldırılmış, Aralık 1999’da döviz kurunun çıpa olarak kullanıldığı yeni bir istikrar programı başlatılmış ve Şubat 2001’e kadar sürmüştür ve o tarihten itibaren

²⁹⁶ ÜNSAL, Hilmi, “Türkiye’de Finansal Serbestleşme Sürecinde İç Borçlanma ve Sermaye Piyasası Üzerindeki Etkileri”, Gazi Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı 3, 2003, ss.191-205.

de esnek kur sistemine geçilmiştir. 1990 yıllardan itibaren GSMH artmasına rağmen, iç borç stokunun GSMH'ye oranı artmıştır.

Bunun yanında, faiz oranlarının artması dengeleri daha da bozmuş ve içinden çıkılmaz hale getirmiştir. Bu durum 2000'li yıllarda ülkemizin yaşamış olduğu en büyük problemlerden birisi olarak görülebilir. 1990 yılında %54 seviyesinde olan kısa vadeli borçlar 1996 yılında %100 seviyesine gelmiştir. Vadelerin kısalmasına paralel olarak faiz oranları da artmış ve temel ekonomik dengeler bozulmuştur. 1996 yılından itibaren tamamı kısa vadeli borç haline gelen iç borçlar, borçlanmanın sürdürülemez hale gelmesine neden olmuştur. Borç vadelerindeki bu kısalmanın en belirgin nedenleri, katlanan iç borç faiz ödemelerinin bütçe dengesini bozması, kamu harcamalarının istenmeyen bir şekilde artması, buna karşılık kapsamlı bir vergi reformunun yapılmaması gibi kamu maliyesi ile ilgili nedenlerdir. İç borç faiz ödemelerindeki sürekli artış, kamu kesiminin iflasının en temel nedenidir. Ülkemizde faiz ödemeleri 2000 yılında anapara ödemelerinden fazla olmuştur. İç borç servisi kamu gelirleri ile kıyaslandığında ise, 1993 yılına kadar kamu gelirleri iç borç servisini karşılayacak düzeyde iken, bu tarihten itibaren karşılayamaz hale gelmiştir. 2001 yılında faiz giderleri, kamu harcamalarının %50'sini, kamu gelirlerinin %78'ini, daha vahimi ise, vergi gelirlerinin %101'ini oluşturmuştur. İç borçlanma kaynaklarının, marjinal tasarruf eğilimi yüksek kesimler olması ve bu kesimlerin elde ettikleri borç faizlerini tekrardan aynı alana aktarmaları nedeniyle gelir dağılımını vergi mükellefleri ve düşük gelir grupları aleyhine bozarak, bu politikaların sosyal yansımaları da olumsuz olmuştur.

Bu arada, sermaye piyasasının kurulmasından itibaren hemen ilk yıllar içinde piyasadaki fonların toplanmasında kamu kesiminin ağırlığı %90'ların üzerinde seyretmiştir. 1988 yılına kadar sermaye piyasası çeşitli kesimler tarafından öğrenilmiş, hukuki altyapısı önemli ölçüde tamamlanmış ve artık gelişmekte olan sermaye piyasası yerine gelişmiş sermaye piyasaları grubuna dâhil edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır²⁹⁷. 1988 yılında döviz ve efektif piyasaları, 1989 yılında döviz karşılığı altın piyasası kurulmuştur. 1992 yılında uluslararası borsa federasyonuna üye olunarak uluslararası borsa olma niteliği kazanmıştır. 2000 yılına kadar tezgâh üstü bono ve tahvil piyasalarında kamu kesiminin talebine paralel olarak işlem miktarı sürekli artmasına rağmen, 2000 yılından sonra ekonomik krize ve siyasi otoritenin maliye

²⁹⁷ SOYDEMİR, Selim, "Sermaye Piyasası Kurulu", Ekonomide Durum, Türk-İş Araştırma Merkezi Yayını, Kış 1997, s.170.

politikası olarak dış borçlanmaya yönelmiş olması da Türkiye'deki finansal sistemin düzelmesinde önemli bir faktördür.

1990-2000 yılları arasında hisse senetleri piyasası, tahvil ve bono piyasası kadar gelişmemiştir. 1994 yılına kadar hisse senetleri sadece ulusal pazardan oluşurken 1995 yılından itibaren yeni pazarlar açılmıştır. Yeni pazarların açılması ve halka açık şirketlerin sayılarının artması, hisse senetleri piyasasının işlem hacmini hızla artırmıştır. Tasarruf sahipleri için de, hisse senetleri piyasasına fon arz eden kesimler küçük tasarruf sahipleri olarak adlandırılan bireysel yatırımcılar iken, bu piyasalar risk ve belirsizliğin fazlalığı ve getiri oranlarının azlığı nedeniyle kurumsal yatırımcılar tarafından pek fazla talep edilmemişlerdir²⁹⁸. 1990-2002 döneminde BİST'in işlem hacmi GSMH ile kıyaslandığında işlem hacminin GSMH'ye oranında çok hızlı bir artış olduğu görülmektedir. Buradan piyasanın derinleştiği sonucu çıkarılabilir. Ancak, işlem hacmindeki artışın nedeni, tahvil ve bonoların artışıdır. Oysa piyasanın derinleştiğinin söylenebilmesi için diğer unsurların yanında hisse senetleri piyasasının gelişmesi ve işlem hacminin artması gerekmektedir.

Bu dönemdeki bir başka dengesizlik ise, fon talep edenler ile fon arz edenler arasındaki ilişkiyi sağlayan aracı kurumlar kesimindeki bankaların ağırlığı, sermaye piyasasının sağlıklı ve istikrarlı bir şekilde gelişimini olumsuz etkilemiştir. 1990-2002 yılları aralığında, ortalama olarak iç borçların %80'lik kesimi bankacılık kesiminden gerçekleştirilmektedir. Bu durum, bankacılık kesimini büyük ölçüde devleti finanse etmeye odaklamış olup, ekonomide üstlenmesi gereken rolden uzak kaldığını göstermektedir. Bankacılık sektörü devlete borç olarak verdiği bu fonları, bireysel ve kurumsal tasarruf sahiplerinden topladığı için aracı vazifesi görmesi dolayısıyla, tahvil ve bono piyasalarının en güçlü aktörü haline gelmiştir²⁹⁹. DİBS faiz oranlarındaki artış, bu senetlere yapılan spekülasyon yatırımların getirilerini artırırken bir taraftan da riskleri azaltmıştır. Bu durum sanayi sektöründe faaliyette bulunan şirketlerin, hatta KİT'lerin bile esas faaliyetlerini bırakarak devlet iç borçlanma senedi almalarına neden olmuştur. Nitekim birçok özel şirket kârlarının %60'ından fazlası faaliyet dışı kârlardan

²⁹⁸ ESER, Rüya, "Sermaye Piyasasında Yaratılan Kaynaklar ve Dağılımı", Türkiye'de Kaynak Aktarım Sürecinde Sermaye Piyasalarının Rolü:1980 Sonrası Dönemin Bir Değerlendirmesi, SPK Araştırma Dairesi Yayını, Ankara, 1995, ss.30-31.

²⁹⁹ ÇAKICI, Latif, "Ekonomik Gelişme İçin Sermaye Piyasası ve Bankalardan Beklenen Fonksiyonlar", Türkiye Ekonomisi Nereye Gidiyor?, Ankara Üniversitesi Basımevi, Genişletilmiş 3ncü Baskı, Ankara, 1992, s.108.

oluşmaktadır³⁰⁰. Bütün bu sebeplerden dolayı, BİST'in uluslararası piyasalarla bütünleşmesi zorlaşmış ve yerel bir piyasa özelliğini bünyesinde taşımıştır³⁰¹. Tüm bunların sonucunda 1985-2002 döneminde sermaye tekelleşmiş ve kaynak kullanımında verimlilik engellenmiştir.

Günümüzde ise dünya artık daha hızlı değişmektedir. Çin, her geçen gün ekonomisi güçlendikçe kendi çıkar alanında daha fazla söz sahibi olmaya çabalamakta, son iki-üç yılki %7'lere yakınsayan büyümesi de bunu göstermektedir. Çin, geçtiğimiz yıllarda Japonya, bu sene Vietnam ile ihtilafli adalar konusunda daha fazla hareketlilik gösterirken, ABD de donanmasının %60'ını Pasifik bölgesine yığmayı plânlamakta, şimdiden, Avustralya'nın bölgeye en yakın, en kuzeydeki kenti olan Darwin'e ve Filipinler'e asker göndermektedir. Başta Japonya, Avustralya, Filipinler ve Vietnam olmak üzere bölgedeki 12 ülke ile ittifakını güçlendirmekte, Trans-Pasifik Ortaklık (TPP) anlaşmasıyla da sadece askeri değil, ekonomik bir işbirliğini de bölgede şekillenmektedir. Atlantik tarafında ise, Amerika ile AB arasında Transatlantik Ticaret ve Yatırım Ortaklığı (*Transatlantic Trade and Investment Partnership–TTIP*) anlaşmasında sona yaklaşmış durumdadır. Üretim standartlarını bile değiştirecek bu anlaşma ile Anglo-Sakson dünya bağlarını daha da güçlendirecek, ticaret daha da rahat hale gelecektir. Böylelikle, ABD ilgisini Pasifik'e daha fazla yoğunlaştırabilecektir. Zira Afrika kıtasında da yatırım yapan Çin'in bu ilerlemesini yavaşlatmak için ABD, Orta Asya'daki ülkelerde de üsler kurup ilişkilerini artırmaktadır. Tüm bu gelişmeler Türkiye'yi yakından ilgilendirmektedir, ancak günlük siyasetin içinde sürekli iç meseleler ile boğuşup yorulan bir ülke olarak, bu gelişmelere karşı etkin politika üretmenin yanında, Türkiye'yi nasıl etkileyebileceği bile çok da fazla hesaplanmamaktadır. TIPP anlaşması, ABD-İran barışı gibi bizi doğrudan ilgilendiren değişimlerin, hem siyaset hem de ekonomi dünyası tarafından çok iyi takip edilmesi ve gerekli politikaların oluşturulması Türkiye'nin bölgesel gücünün sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir³⁰².

³⁰⁰ BOLAK, Mehmet, "Sanayi Şirketleri Devlete Borç Veriyor", Banka ve Ekonomik Yorumlar, Sayı 11, Kasım 1997, s.28.

³⁰¹ AKDOĞAN, Haluk, "Türkiye Sermaye Piyasalarının Avrupa Topluluğu Sermaye Piyasalarına Entegrasyonu", İşletme ve Finans, 1992, ss.46-49.

³⁰² AĞAOĞLU, Ali, "Atlantik soğuyor, Pasifik ısınıyor! Peki, Türkiye ne yapmalı?", Fortune Türkiye, Haziran 2014, s.82.

3.1.1.5. Sosyal Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri

İnsan unsuru, korkudan hırsla kadar geniş bir davranış yelpazesi ile yatırım kararının alınmasında pek çok yatırımcının düşündüğünden daha fazla etkili ve önemlidir. Toplumların yatırım yapma karakteri, borsaların işleyişinde belirleyici olmaktadır. Bireylerin menkul kıymetler konusundaki eğitim durumu, ülkedeki menkul kıymetlerin ne kadar süredir bulunduğuna bağlı olabilir. Sürekli bir etkileşim ve değişim içinde bulunan finansal piyasaların gelişmesi, bireylerin ve toplumun da aynı oranda gelişmesi ile doğru orantılı bir ilişki gösterebilir. BİST'in yakın geçmişe sahip olması nedeniyle, Türkiye'de menkul kıymetler toplum için yeni sayılabilecek bir yatırım türüdür. BİST'in ilk yıllarında hem yeterli analiz teknikleri mevcut olmadığı, hem de menkul kıymetler ile ilgili eğitim ve bilgi toplumda homojen olarak yerleşmediği için genellikle pasif yatırım stratejileri veya kulaktan dolma bilgiyle yatırım yapılmıştır. Ancak, zaman ile eğitim kurumları, medya ve ilgili kuruluşlar toplumun bilgi düzeyini yeterli seviyeye çıkararak aktif yatırım stratejilerinin oluşmasını sağlamışlardır. Yatırım süreci ya içgüdüsel ya da plânlı bir süreçtir. Önkoşulların sağlanması, yatırım hedeflerinin belirlenmesi, yatırım plânının oluşturulması, yatırım araçlarının değerlendirilmesi, yatırım araçlarının seçilmesi, çeşitlendirilmiş portföy oluşturulması ve portföyün yönetilmesi aktif yatırım stratejisinin temel adımları olarak değerlendirilebilir. Ülkenin sosyal yapı karakteristiği ve gelişmişlik düzeyi, tüm bu adımların atılması sırasında etkin olacaktır. Toplumun eğitim düzeyi, sistematiklik endeksi, yaş ortalaması, aile yapısı, ahlâk kuralları, liderler ile olan ilişkileri, dini inançları, batıl inançları gibi sosyolojik etkenler bu bağlamda etkili olabilmektedir. Örneğin, Tufan ve Hamarat (2009) 13 sayısının pek çok insanın hayatında etkili olmasına rağmen, Romanya ve Türkiye borsaları üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Ancak, haftanın günlerinin Romanya borsasına hiçbir etkisi yok iken, BİST'te hafta başlarında negatif getiriler olurken, hafta sonlarına doğru pozitif getirilerin oluştuğunu görmüşlerdir³⁰³.

Şeffaflık da etik zorunluluk olarak görülmekle birlikte, finansal piyasalarda şeffaflığın artırılmasının yararlı ve gerekli olduğu yönünde önemli nedenler bulunmaktadır. Serbest piyasa ekonomisi, fiyat mekanizması tarafından düzenlemekte olup, fiyat mekanizmasının bunu gerçekleştirebilmesi için bilginin tam ve ulaşılabilir

³⁰³ TUFAN, Ekrem; HAMARAT, Bahattin, "Jinx Number Effect", The Istanbul Stock Exchange Review, Cilt 11, No 41, 2009, ss.45-60.

olması gerekmektedir. Ayrıca, ekonomik alanda, hem kaynak dağılımının düzeltilmesi hem de verimlilik ve büyüme üzerinde olumlu etki yaratan bilginin güvenilir ve doğru zamanlı (güncel) olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, finansal piyasalarda şeffaflığın sağlanarak bilginin ulaşılabilir kılınması büyük önem arz etmektedir. Zira bilgi problemi, sermaye piyasalarında kaynakların etkin dağılımına engel olmaktadır. Şeffaflaşma bu problemin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır³⁰⁴. Finansal piyasalarda şeffaflık, genel olarak mevcut durum ve olaylar hakkındaki bilginin ulaşılabilir, somut ve anlaşılabilir olması sürecini ifade etmektedir. Şeffaflık, piyasa katılımcılarının bir firma veya bir ülkeyi diğerinden ayırmak ve riskleri tanımak için gereken bilgiyi elde etmelerini sağlayarak, kaynakların etkin dağılımına katkıda bulunmaktadır. Şeffaflığın yeterli düzeyde olmaması ise, finansal krizlerin oluşmasına neden olabilmektedir, ancak şeffaflığın hiçbir zaman tek başına sorumlu olması düşünülemez, sadece etkenlerden biri olarak değerlendirilebilir (E. Özbay, 2007).

Sosyal yapının BİST üzerindeki etkilerini inceleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Kültür, bir toplumu niteleyen genel bir davranış biçimi, entelektüel ve sosyal mirastır. Kültürel değerler nesilden nesile geçerken, toplumun genç bireyleri de bu değerleri sosyalleşme süreci içinde öğrenmektedirler. Bu nedenle bireylerin tutum ve düşünceleri, büyük ölçüde içinde yaşadığı kültürü yansıtmaktadır³⁰⁵.

Borsa İstanbul'a yatırım yapan yatırımcılar portföylerini oluştururken tamamıyla portföy teorilerine bağlı kalmamakta, davranışsal etkiler göstermektedirler. Uygulamada, yatırımcılar rasyonel davranmakla birlikte, irrasyonel davranışlar da göstermekte ve irrasyonel davranışlarını sıklıkla tekrar etmektedirler. Bu irrasyonel davranışlar cinsiyete, medeni duruma, eğitim durumuna, yaşa, iş durumuna, gelir durumuna, pozisyonuna, toplumdaki konumlarına, içinde bulunulan sosyal çevreye göre değişebilmektedir.

³⁰⁴ HEALY, Paul M.; PALEPU, Krishna G., "Information asymmetry, corporate disclosure, and the empirical markets: A Review of The Empirical Disclosure", Journal of Accounting and Economics, 2001, ss.405-440.

³⁰⁵ AKSULU, İkbâl, "Tüketicinin Sosyo-Ekonomik ve Demografik Özellikleri ve Marka Seçimi Davranışları Üzerindeki Etkileri", İlkem Ofset, İzmir, 1993, ss.27-28.

3.1.1.6. Hukuki Yapıdan Kaynaklanan Özellikleri

Borsaların hukuki yapıları ile siyasi yapıları arasında doğal bir ilişki bulunmaktadır. Yukarıda, ülkelerin siyasi yapısı ile ilgili özellikler bölümünde hukuki yapıya ilişkin detaylar verilmişti. Yatırım yapmayı belirleyen önemli özelliklerden biri de, yatırım sürecinde rol alan kurumların (örgütlerin) işleyiş şekli, yatırımı yönlendirmede ve kontrol etmedeki yasal dayanakları ve prosedürlerdir. Finansal piyasalardaki verim kavramı, adalet ve rekabetçilik kavramları ile bağlantılı olduğu için, hukuki yapı ve ticaret kuralları bu piyasaların etkin ve verimli şekilde çalışmalarında belirleyici faktör olmaktadır.

İMKB (yeni adıyla BİST)*, Menkul Kıymetler Borsaları hakkında 91 sayılı KHK'ye dayalı olarak kurulmuş, yetkilerini kendi sorumluluğu altında bağımsız olarak kullanan ve SPK'nın gözetim ve denetimi olan, tüzel kişiliğe sahip bir kamu kurumudur. BİST, yetkili olduğu alanlarda kendi yasal düzenlemelerini yapabilmektedir. Ancak, BİST tüm bu işlemlerini SPK'nın denetim ve gözetimi altında gerçekleştirebilmektedir. Hukuki yapının en önemli özelliği, denetimin ve gözetimin sağlanması ile ilgilidir. Ülkemizin eğitim seviyesi, kültürel yapısı, iş etiği anlayışı, demografik ve sosyal yapısı ile ticaret kanunu, medeni kanun, borçlar kanunu gibi diğer hukuki yapıları ile borsayı idare eden kanunlar arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Dolayısı ile bu ilişki, kanunların, özellikle denetim ve gözetim aşamasında anlaşılabilir, kolay uygulanabilir ve ayrıca ülkemiz şartlarına uygun olmasını gerektirir.

BİST tâbi olduğu kanunlar ile AB sermaye piyasaları düzenlemelerine paralel bir yapı olarak gelişmektedir. Bunun yanında, tam otomasyonlu elektronik alım-satım sistemi, uluslararası standartlara uygun takas ve saklama işlemleri, yabancı yatırımcılar için liberal bir ortam sağlaması, derinlik bilgileri dâhil olmak üzere gerçek zamanlı veri yayını yapması, en rekabetçi düşük işlem maliyetini sunması gibi özellikleri, hukuki yapısının sağladığı özelliklerdir.

Kurulduğundan itibaren yukarıda sıraladığımız bu özelliklerini zaman içinde elde eden BİST özellikle 2003 yılından itibaren, Türkiye'nin yaşadığı değişimle de beraber, şirketler ve sermaye piyasası ile ilgili hukuki altyapının da yeniden düzenlenmesine neden olmuştur. Son yıllarda yeni Türk Ticaret Kanunu, Borçlar Kanunu, Finansal Kiralama, Faktöring ve Finansman Şirketleri Kanunu, Bireysel Emeklilik Sistemine

* İMKB 23 Nisan 2013 tarihinden sonra BIST olarak adlandırılmıştır.

ilişkin teşvik düzenlemeleri yürürlüğe konulmuş, 2012 yılının son gününde de yeni Sermaye Piyasası Kanunu yürürlüğe girmiştir. Yeni Kanun ayrıca yürürlükteki sermaye piyasası düzenlemelerinin tümünü yürürlükten kaldırmış ve bir yıl içinde yeni kanuna uyumlu ikincil düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca, 2013 yılında da 67 adet düzenleme ile AB direktiflerine uyumlu yeni sermaye piyasası hukuki altyapısının şekillendirilmesi yapılmıştır. 2013 yılında yapılan hukuki altyapı değişiklikleri kurumsal altyapı değişikliklerini de beraberinde getirmiştir. Böylece, Vadeli İşlemler Borsası, Altın Borsası ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsası, Borsa İstanbul (BİST) çatısı altında birleştirilmiştir. Yine, aynı çatı altında Enerji Borsası'nın oluşturulma çalışmaları da devam etmektedir. Tüm bu çalışmalar, BİST'in hem hukuki altyapısının hem de kurumsal altyapısının yeniden oluşturulması İstanbul Finans Merkezi Projesinin alt bileşenlerini oluşturmaktadır. Tüm bu hukuki düzenlemelerin amacı, yeni dönemde ülkemizin başarılı olması ve küresel hasıladan daha fazla pay alabilmesine katkı sağlamaktır (Ertaş, 2014).

3.1.2. BİST'in Dünya Borsalarıyla Karşılaştırması

Tablo 3.3'deki veriler BİST ile bazı diğer gelişmekte olan borsaların makroekonomik verileri ile borsa verilerini göstermektedir.

Tablo 3.4.'de gelişmiş ülke borsaları ile BİST'in piyasa değerlerini gösteren veriler bulunmaktadır. 2013 yılında, dünyadaki toplam piyasa değerinin dörtte üçünü ilk 10 borsa oluşturmuştur. Bir önceki sene 10. sırada yer alan Avustralya Borsası 12. sıraya düşerken, daha önce bu sıralamada yer almayan İsviçre Borsası ilk 10 borsa arasında yerini almıştır. 2012 yılına göre, ilk 10 sırada yer alan borsalardan sadece Şanghai Borsasının piyasa değeri düşerken, Hong Kong ve Kanada borsalarında artış sınırlı kalmıştır. En fazla çıkış %33 ile Nasdaq OMX'te yaşanmıştır. Borsa İstanbul'daki şirketlerin piyasa değeri, 2013 yılında bir önceki yıla göre TL'nin değer kaybının da etkisiyle %37 gerilemiş, 196 milyar ABD Doları'na düşmüştür. BİST'in piyasa değeri 236 milyar ABD Doları olarak belirtilirken, aradaki farkın sınıflandırmadan kaynaklandığını hatırlatmak yararlı olacaktır.

Tablo 3.3: Bazı Gelişmekte Olan Ülkeler (GOÜ) İçin Çeşitli Büyüklük ve Oranlar (2010)

Gelişmekte Olan Ülke (GOÜ)	Makroekonomik Veriler				Menkul Kıymetler Borsaları		
	Kişibaşı GSYH (dolar)	Büyüme Hızı (%)	Cari İşlemler Dengesinin GSYH'ya oranı	Tahvil Stoku*/GSYH	Piyasa Kap./GSYH	İşlem Hacmi/GSYH	Şirket Sayısı
Arjantin	9.138	9,16	0,89	0,16	0,17	0,01	106
Brezilya	10.816	7,49	-2,27	0,64	0,74	0,43	373
Bulgaristan	6.334	0,15	-0,79	-	-	-	-
Çek Cumhuriyeti	18.288	2,32	-2,44	-	-	-	-
Estonya	14.836	3,11	3,57	-	-	-	-
Güney Amerika	7.158	2,78	-2,83	-	-	-	-
Macaristan	12.879	1,21	1,57	0,59	0,21	0,20	52
Malezya	8.423	7,16	11,82	1,01	1,72	0,51	956
Romanya	7.542	-1,27	-4,23	-	-	-	-
Rusya	10.437	3,96	4,88	-	-	-	-
Venezüella	9.960	-1,91	4,95	-	-	-	-
TÜRKİYE	10.399	8,20	-6,55	0,31	0,41	0,56	339
GOÜ 2010 Yılı Ortalaması	10.518	3,50	0,70	0,50	0,65	0,34	365
TÜRKİYE 2001-2010 Ortalaması	7.166,35	3,70	-4,02	0,37	0,29	0,41	309
GOÜ 2001-2010 Ortalaması	7.246,95	3,69	-0,83	0,47	0,56	0,28	360

Kaynak: BİST, EFAMA, IMF, WFE**Tablo 3.4: Borsaların Piyasa Değeri (2013)**

	Borsa	Ülke	Piyasa Değeri (Milyar\$)	Piyasa Değeri Payı	Piyasa Değeri/GSYH
1	New York Borsası	ABD	17,950	%27,8	%107
2	Nasdaq OMX	ABD	6,085	%9,4	%36
3	Tokyo Borsası	Japonya	4,543	%7,0	%93
4	Londra Borsası Grubu	İngiltere, İtalya	4,429	%6,8	%96
5	NYSE Euronext (Avrupa)	Hollanda, Belçika, Fransa, Portekiz	3,584	%5,5	%84
6	Hong Kong Borsası	Hong Kong	3,101	%4,8	%1133
7	Şanghai Borsası	Çin	2,497	%3,9	%27
8	TMX Grubu	Kanada	2,114	%3,3	%116
9	Deutsche Börse	Almanya	1,936	%3,0	%53
10	İsviçre Borsası	İsviçre	1,541	%2,4	%237
36	BİST	Türkiye	196	%0,3	%24
	Toplam*		64,751	%100	%95
	Amerika		28,299	%43,7	%121
	Asya-Pasifik		18,415	%28,4	%84
	Avrupa-Afrika		18,038	%27,9	%78

Kaynak: <http://www.tspakb.org.tr>

Nitekim Dünya Borsalar Federasyonu (*World Federation of Exchanges – WFE*) verileri sadece borsaların ana pazarlarındaki şirketleri (gayrimenkul ve girişim sermayesi yatırım ortaklıkları dâhil) kapsamaktadır. Dünya borsaları arasında BIT'in konumuna bakıldığında, piyasa değerine göre 2009 yılında 25'nci sıraya kadar çıkan borsanın 2011 yılında 32, 2013 yılında da 36'ncı sıraya kadar gerilediği görülmektedir. Bu karşılaştırmada, millî gelirin 12 katı piyasa büyüklüğüne sahip olan Hong Kong dikkat çekmektedir. Borsa İstanbul'un piyasa değeri, Türkiye millî gelirin sadece dörtte birine denk gelmektedir. Bölgesel sınıflandırmada ise, Amerika kıtası %121 oran ile ilk sıradadır.

Tablo 3.5: Borsada İşlem Gören Toplam Şirket Sayısı (2013)

Borsa	Ülke	Şirket Sayısı	Toplamdaki Payı
Bombay Borsası	Hindistan	5.294	%11,0
TMX Grubu	Kanada	3.886	%8,1
Tokyo Borsası	Japonya	3.419	%7,1
BME Borsası	İspanya	3.245	%6,8
Londra Borsası Grubu	İngiltere, İtalya	2.736	%5,7
NASDAQ OMX	ABD	2.637	%5,5
NYSE	ABD	2.371	%4,9
Avustralya Borsası	Avustralya	2.055	%4,3
Kore Borsası	Güney Kore	1.813	%3,8
Hong Kong Borsası	Hong Kong	1.643	%3,4
BİST	Türkiye	263	%0,5
Toplam*		47.990	%100
Amerika		10.215	%21,3
Asya-Pasifik		24.338	%50,7
Avrupa-Afrika		13.437	%28

Kaynak: <http://www.tspakb.org.tr>

Borsada işlem gören şirketleri karşılaştırdığımızda, 2013 sonu itibarı ile borsalarda işlem gören yerli ve yabancı şirketler de dâhil olmak üzere, bir önceki yıla göre %3 artarak 47.990 olmuştur. Borsalara göre şirket sayılarını gösteren veriler Tablo 3.5.'de verilmiştir. İncelenen borsalar arasında en fazla şirketin işlem gördüğü borsa Bombay Borsasıdır. Bombay Borsasında 5.294 şirket işlem görürken, bunların tamamı yerli şirketlerdir. Onu, 3.886 şirket ile Kanadalı TMX Grubu ve 3.419 şirket ile 2013 yılında Osaka Borsası ile birleşen Tokyo Borsası takip etmektedir. Dördüncü sırada yer alan Londra Borsası Grubu, Londra Borsası ile İtalya Borsasından oluşmaktadır. Piyasa

değeri bakımından Amerika kıtasındaki borsaların gerisinde kalan Asya-Pasifik borsalarına, Hintli borsaların etkisiyle, dünya piyasalarında işlem gören şirketlerin yarısı işlem görmektedir.

Uluslararası finans merkezlerinden olan New York ve Londra, yabancı şirketlerin ilgisini çekmektedir. İşlem gören şirket bakımından ilk sıralarda yer alan bu merkezlerdeki borsalarda yabancı şirketlerin oranı New York Borsasında %22, Londra'da %21'dir. 572 şirket ile Londra Borsası Grubu incelenen borsalar arasında en fazla yabancı şirketin işlem gördüğü borsa konumundadır. Tabloda yer almayan Lüksemburg, Singapur ve Şili borsaları da, yabancı şirket sayılarının oransal olarak yüksek olduğu borsalardandır.

Toplam işlem gören şirket sayısında BİST, 263 adet şirket ile 39. sırada yer almaktadır. Mevcut durumda sadece bir yabancı şirket Borsa İstanbul'da işlem görmektedir. WFE yöntembilimine göre, işlem gören şirket sayısı Ulusal Pazardaki şirketler ile gayrimenkul ve girişim sermayesi yatırım ortaklıklarını içermektedir.

Borsaları işlem hacimleri bakımından incelediğimizde ise, kriz öncesinde 2007 yılında, 100 trilyon ABD Doları'na ulaşan hisse senetleri piyasasında işlem hacimleri, 2012'de zorlu bir yıl geçirdikten sonra 2013'te toparlanmıştır. 2013'te toplam işlem hacmi %12 artarak 78 trilyon ABD Doları'na çıkmıştır. Tablo 3.5'de görüleceği gibi, en yüksek piyasa değerine sahip olan New York Borsası, Nasdaq OMX ve Tokyo Borsası, işlem hacminde de ilk üç sırada yer almaktadır. 2013 yılında Nasdaq OMX'de 27 trilyon ABD Doları hisse senedi işlemi gerçekleşmişken, en yakın takipçisi olan diğer ABD'li borsa olan New York borsasında işlem hacmi 15 trilyon ABD Doları'dır. İki ABD'li borsada dünyadaki toplam hisse senedi işlemlerinin yarısından fazlası gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, bu borsaların toplam işlem hacmindeki payı 2008 yılında %63 iken, devam eden yıllarda gerilemiştir. ABD'li borsaların ardından en yüksek işlemler Uzakdoğulu borsalarda yapılmıştır. Tokyo Borsasında 6,5 trilyon ABD Doları hacim gerçekleşirken, Çinli Şanghay ve Şensen borsalarında ise dünyadaki toplam işlemlerin %10'u üretilmiştir.

Piyasa değeri ve işlem gören şirket sayısı bakımından daha geri sıralarda yer alan BİST, 2013 yılında 375 milyar ABD Doları işlem hacmiyle dünya borsaları arasında bir önceki yıl olduğu gibi 21. sırada yer almıştır.

Tablo 3.6’da görüldüğü gibi, pay senedi işlem hacminin toplam piyasa değerine oranı, piyasanın likiditesine ilişkin bir gösterge olarak kullanılabilir. Pay senedi devir hızını ifade eden bu oranın yüksek olması likit bir piyasaya işaret ederken, aynı zamanda bu borsadaki yatırımcıların portföylerini daha kısa vadeli olarak değerlendirdiklerini göstermektedir. Bu anlamda, daha önceki yıllarda olduğu gibi en likit piyasanın %438 devir hızı ile Nasdaq olduğu görülmektedir. Onu takip eden Şenssen Borsası’nda ise, devir hızı %271’dir. %191 devir hızıyla BİST üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 3.6: Borsaların Pay Senedi İşlem Hacimleri (2013)

Borsa	Ülke	İşlem Hacmi (milyar \$)	İşlem Hacmi Payı	Hacim / Piyasa Değeri
NASDAQ OMX	ABD	26.644	%34,2	%438
NYSE	ABD	15.309	%19,6	%85
Tokyo Borsası	Japonya	6.496	%8,3	%143
Şenhzen Borsası	Çin	3.939	%5,0	%271
Şanghai Borsası	Çin	3.800	%4,9	%152
Londra Borsası Grubu	İngiltere, İtalya	3.732	%4,8	%84
NYSE Euronext	Avrupa	3.123	%4,0	%87
Deutsche Börse	Almanya	1.500	%1,9	%77
Hong Kong Borsası	Hong Kong	1.447	%1,9	%47
Kore Borsası	Güney Kore	1.361	%1,7	%110
BİST	Türkiye	375	%0,5	%191
Toplam		78.014	%100	%120
Amerika		44.281	%57	%156
Asya-Pasifik		20.506	%26	%111
Avrupa-Afrika		13.228	%17	%73

Kaynak: <http://www.tspakb.org.tr>

3.1.3. BİST Verilerinin Analizi

BİST’te analiz yapabilmek için öncelikle, BİST’in özelliklerini iyi bilmek gereklidir. BİST Endeksleri, şirketlerin toplam piyasa değeri değil, Merkezi Kayıt Kuruluşu (MKK) kaydında fiili dolaşımdaki pay olarak bulunan ve alım-satıma konu olabilecek hisse senetlerinin piyasa değeri ağırlıklı olarak hesaplanmaktadır. BİST endekslerinin özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Elyak, 2008).

- i. **Piyasa Değeri Ağırlıklıdır.** Şirketlerin hisse sayısı, o hisse senedinin adedine ve halka açıklık oranına göre endeksi etkiler.

- ii. **Bileşik Endeks Geniş kapsamlıdır.** Hisseleri işlem gören şirketlerin büyük bir bölümü kapsamındadır.
- iii. **Endeks Süreklidir.** Endeks içinde yer alan şirketlerin sermaye artırımlarında, şirket çıkarılmasında veya yeni şirket alınmasında baz dönemde düzenleme yapılmak suretiyle süreklilik sağlanmaktadır.
- iv. **Gerçekçidir.** Endekse esas olan piyasa değerlerinin hesaplanmasında şirketlerin halka açıklık oranları temel alınmaktadır.

BİST işlemlerinde, yıllar içerisinde değişik yöntemler kullanılmış ve teknolojinin ve borsa kavramının gelişip yaygınlaşması ile bugün açılış seanslarında “tek fiyat” yöntemi, birinci seansın kalan bölümü ve ikinci seansta “çok fiyat – sürekli müzayede” sistemi kullanılmaktadır. Hisse senetlerinin fiyatlandırması “elektronik esaslı” “yaygın kotasyon” kullanılarak “emir güdümlü” ve “saydam” olarak yapılmaktadır. BİST’in bu sınıflandırması borsa endeksinin hareketindeki teknik etkenlerin incelenmesinde faydalı olacaktır.

BİST Hisse Senedi Endeksleri, BİST’te işlem gören hisse senetlerinin gruplar halinde ortak performanslarının ölçülmesi amacıyla oluşturulmuştur (Eylak, 2008).

- i. **BİST 100 Endeksi:** BİST Hisse Senetleri Piyasası için temel endeks olarak kullanılmaktadır. 1986 yılında 40 şirketin hisse senedi ile başlayan ve zamanla sayısı 100 şirketin hisse senedi ile sınırlanan Bileşik Endeks’in devamı niteliğindedir. Ulusal Pazar’da işlem gören şirketlerle, Kurumsal Ürünler Pazarı’nda işlem gören gayrimenkul yatırım ortaklıkları ve girişim sermayesi yatırım ortaklıkları arasından seçilen 100 hisse senedinden oluşmakta olup, BİST 30 ve BİST 50 endekslerine dâhil hisse senetlerini de kapsamaktadır. Endeks başlangıç değeri Ocak 1986=1’dir.
- ii. **BİST 50 Endeksi:** Ulusal Pazar’da işlem gören şirketlerle, Kurumsal Ürünler Pazarı’nda işlem gören gayrimenkul yatırım ortaklıkları ve girişim sermayesi yatırım ortaklıkları arasından seçilen 50 hisse senedinden oluşmakta olup, BİST 30 endeksine dâhil hisse senetlerini de kapsamaktadır. Endeks başlangıç değeri 28.12.1999=15,208.78’dir.
- iii. **BİST 30 Endeksi:** Ulusal Pazar’da işlem gören şirketlerle, Kurumsal Ürünler Pazarı’nda işlem gören gayrimenkul yatırım ortaklıkları ve girişim sermayesi

yatırım ortaklıkları şirketleri arasından seçilen 30 hisse senedinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 27.12.1996=976'dır.

- iv. BİST 10 Banka Endeksi:** Ulusal Pazar'da işlem gören bankalar arasından seçilen 10 hisse senedinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 31.12.2009=119,536.52'dir.
- v. BİST 100-30 Endeksi:** BİST 100 Endeksine dâhil olup, BİST 30 endeksinde yer almayan 70 hisse senedinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 31.12.2008=26,864.07'dir.
- vi. BİST Kurumsal Yönetim Endeksi:** BİST pazarlarında işlem gören ve belirlenmiş asgari kurumsal yönetim derecelendirme notuna sahip şirketlerin hisse senetlerinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 29.08.2007=48,082.17'dir.
- vii. BİST Tüm Endeksi:** Menkul Kıymet Yatırım Ortaklıkları hariç olmak üzere, BİST pazarlarında işlem gören şirketlerin hisse senetlerinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 27.12.1996=976'dır.
- viii. BİST Tüm-100 Endeksi:** BİST Tüm endeksine dâhil olup, BİST 100 endeksinde yer almayan hisse senetlerinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 31.12.2008=26,864.07'dir.
- ix. Sektör Endeksleri ve Alt Sektör Endeksleri:** Menkul Kıymet Yatırım Ortaklıkları hariç olmak üzere, BİST pazarlarında işlem gören şirketlerin hisse senetlerinden oluşmaktadır. BİST Sınai endeks başlangıç değeri 31.12.1990=32.56'dir.
- x. BİST Ulusal Tüm Endeksi:** Ulusal Pazar'da işlem gören şirketlerin hisse senetlerinden oluşmaktadır. Endeks başlangıç değeri 31.12.2010=65,912.91'dir.
- xi. BİST İkinci Ulusal Endeksi:** İkinci Ulusal Pazar'da işlem gören şirketlerin hisse senetlerinden oluşmaktadır.
- xii. BİST Menkul Kıymet Yatırım Ortaklıkları Endeksi:** BİST pazarlarında işlem gören menkul kıymet yatırım ortaklıklarının hisse senetlerinden oluşmaktadır.
- xiii. BİST Şehir Endeksleri:** BİST pazarlarında işlem gören ve ana üretim/hizmet faaliyetlerinin gerçekleştiği, ya da şirket merkezinin bulunduğu

şehre göre gruplandırılmış hisse senetlerinden oluşmaktadır. Holdingler hariç, malî sektörde faaliyet gösteren şirketler ile perakende ticaret sektöründe faaliyet gösteren şirketler kapsam dışındadır.

Çalışmamızda temel değişken olarak, alacağımız BİST 100 endeksini borsanın açıldığı 1986 yılından itibaren kesintisiz olarak devamlılığına rağmen, endeksin hesap yöntemi değişiklikler göstermiştir. Endeks, borsanın açılışından 1989 yılı sonuna kadar, endekste yer alan şirketlerin her birinin kendisine ait basit endeks değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu yöntemden, endeks kapsamındaki tüm şirketlere eşit ağırlık verilmesi nedeniyle vazgeçilmiş ve 1990 yılı başında endeksteki toplam piyasa değerleri oranında ağırlık veren yeni hesaplama yöntemine geçilmiştir. 1991 yılı başından itibaren de, şirketlerin halka arz edilmiş kısımlarının piyasa değerleri dikkate alınarak hesaplanmaya başlamıştır.

Bunların yanında, BİST 100 endeksi 26 Ekim 1987'den önce haftalık hesaplanmakta iken, bu tarihten itibaren günlük olarak hesaplanmaya başlamıştır. Ayrıca, 1996 yılı sonuna kadar sadece fiyat endeksleri hesaplanmakta iken, 1997 yılı başından itibaren hem fiyat hem de getiri endeksleri hesaplanmaya başlamıştır. 1996 yılı sonunda yapılan önemli değişikliklerden biri de, 1986-1996 tarihleri arasında hesaplanmış olan BİST Endekslerinin rakamsal ifadesinin kolaylaştırılabilmesi için daha önce hesaplanmış olan değerlerin 100'e bölünmesi suretiyle 1986 Ocak = 100 olan BİST 100 Endeksinin başlangıç değerinin 1986 Ocak=1 olacak şekilde revize edilmesi ve 1997 yılından itibaren bu şekilde hesaplanarak ilân edilmeye başlanması ve endeks değerlerinin tam sayı olarak ifade edilmesidir. 1998 yılı başından itibaren ise, tüm endeksler, tamsayıdan sonra iki haneli olarak gösterilmeye ve aynen saklamada bulunanlar hariç, Takasbank saklamasında bulunan hisse senetlerinin piyasa değeri ağırlıklı olarak hesaplanmaya başlanmıştır.

3.2. VERİLERİN TOPLANMASI VE METODOLOJİ

3.2.1. Veri Seçimi

Bu bölümde BİST Ulusal 100 Endeksinin verilerinin seçimi ele alınacaktır. Spektral analiz, öncelikle zaman serilerini, yani ayrık veya sürekli olarak zaman etiketi ile kayıt edilen verileri ele alan bir yöntem olduğu için, kullanılan BİST Ulusal 100 kapanış verilerinin ne şekilde değerlendirileceğine karar verilmesi, analizin sonucunu etkileyecektir.

Her sistematik problem veya analiz işleminde olması gerektiği gibi, sağlıklı bir sonuca ulaşmak için verilerin elde edilmesi, temizlenmesi, görsel ve istatistiksel analizin yapılması aşamalarında, sistematik olmayan risklerin azaltılması; diğer bir anlatımla, analizciye bağlı olan hataların azaltılması çok önemlidir. Bu nedenle de, her aşamanın sağduyu ve bilimsel veriler ve değerlerle ele alınması gereklidir. Bunun için ise, analizci öncelikle kendisine dürüst olmalıdır.

Borsa İstanbul'dan elde ettiğimiz veriler, 4 Ocak 1998 – 8 Ocak 2015 tarihleri arasındaki Ulusal 100 Endeksinin, Türk Lirası hesaplamaları ile kapanış, en yüksek, en düşük değerleriyle, Euro ve ABD Doları cinsinden karşılıklarıdır. BİST, 4 Ocak 1998 – 31 Aralık 1994 tarihleri arasında tek seanslı, 2 Ocak 1995 sonrasında ise çift seanslı olarak hizmet sunmuştur. Eldeki verilerin, seans kapanış verileri olmasına rağmen; kullanacağımız programların, bilgi işlemci güçlerinin ve program bilginin, en fazla tarihsel verileri (haftalık) analiz yapabilmeye yeterli olması, tarih yanında saat verisiyle işlemlerde sağlıklı sonuç elde edememe olasılığı bulunması nedeniyle, analizlerde sadece haftalık kapanış fiyatları kullanılması uygun olacaktır. Bu konuda daha sonraki çalışmalarda, şartlar oluştuğunda, günlük ve her iki seans için ve hatta anlık değişimlere göre analizlerin yapılması denenebilir.

Kullanılacak veri, BİST Ulusal 100 endeksi haftalık kapanış verileri olduğuna göre, bu veriler bir tür örnek veriyi temsil etmektedirler. Borsa endeksi, her saniyede bir hesaplanan veriler olduğundan (www.borsaistanbul.com, 2016), sürekli veriler olarak sınıflandırılabilir. Spektral analiz yöntemiyle daha etkin bir sonuç çıkarmak için tüm bu verileri incelemek gerekir. Günümüzün, teknolojisi bu bilgileri inceleme olanağına sahip olmasına rağmen, bu çalışmayı yaparken kullandığımız bilgi işlem gücünün zayıflığı, depolama kapasitesinin azlığı, yazılım, bilgi ve deneyim eksikliği buna engel olmaktadır. Ancak, yine de BİST üzerine spektral analiz ile ilgili yapılan tek detaylı

çalışma olması nedeniyle, sadece haftalık kapanış verilerinin spektral analiz ile incelenmesi bile mevcut olanakları oldukça zorlamaktadır.

3.2.2. Metodoloji

Veriler, öncelikle hiçbir matematiksel işleme tâbi tutulmadan, genel bilgi ve mantık içinde gözden geçirilmelidir. Mevcut verilerin ne yönde bir bilgi verdiği, içeriği, temel yapısı, ilişkileri iyice değerlendirilmelidir. Günümüz teknolojisi ne kadar gelişmiş olursa olsun, insanın sezgisel, mantıksal ve yüksek analitik zekâsının yerine geçmesi olanaksızdır. Ancak, kullanılan sistemler, insana yardımcı olabilir.

Bu genel düşünceyle, analizin yapılmasında aşağıdaki yöntemlerin izlenmesi plânlanmıştır:

- i. Verilerin incelenmesi,
- ii. Tanımlayıcı veya keşfedici istatistik (*exploratory statistics*) yöntemleriyle verilerin incelenmesi; tabloların, grafiklerin kullanılması,
- iii. Verilerin ön işlemden geçirilerek, eksik, hatalı verilerin temizlenmesi,
- iv. Betimsel istatistik (*descriptive statistics*) yöntemleriyle verilerin temel istatistik incelemesinin yapılması; spektral modelin tanımlanması,
- v. Çıkarımsal istatistik (*inferential statistics*) yöntemleriyle sonuçların çıkarılması, yorumlamaların ve tahminlerin yapılması.

Verilerin incelenmesi, ham veriler, temel göstergeler kullanılarak yapılacaktır. Temel tablo ve grafikler bu aşamada kullanılacaktır. MS Excel programının fonksiyonları, hem verilerin incelenmesinde, hem de tanımlayıcı istatistik aşamalarında kullanılacaktır. Eldeki verilerin yapısının anlaşılması, analizin daha sonraki aşamalarının etkin olarak sonuçlandırılmasında çok önemlidir.

Haftalık veriler, tanımlayıcı istatistik yöntemiyle, öncelikle R istatistik programı kullanılarak, zaman düzleminde ve spektral düzlemde analiz edilecektir. Haftalık veriler, Ulusal 100 endeksinin işlem gördüğü haftanın en son anındaki verileridir ve genellikle yedi gün arayla elde edilmiştir. Resmî ve dini tatillerle, diğer nedenlerden dolayı yedi günün üstünde aralıklarla kayıt edilen veriler de olmakta, ancak bu veriler de daha düzenli zaman serileri oldukları için analiz edilmeleri ve içerdikleri döngülerin belirlenmesi daha kolay olacaktır. Spektral analiz yönteminde, verilerin durağanlık şartı aranmaktadır. Klâsik spektral analiz yöntemlerinde, incelenen zaman serilerinin eşit

aralıklarla elde edilmiş zaman serileri olması gerektiği için, Ulusal 100 Endeksi haftalık kapanış rakamları bu aşamada daha etkin bir yöntem olacaktır. Haftalık verilerin analizi Ulusal 100 Endeksinin, durağan olup olmadığı konusunda görsel kanının oluşmasını sağlayacaktır. Diğer klâsik istatistiki yöntemlerle de durağanlık ve serilerin diğer önemli özellikleri test edilecektir.

Daha sonra ise, modern spektral analiz tekniklerinden Tekil Spektral Analiz (*Singular Spectral Analysis – SSA*) yöntemi kullanılarak analiz yapılacaktır. Buradaki önemli konulardan biri, modern ve hatta klâsik spektral analiz yöntemlerinin, istatistik yazılımlarına eklentilerinin çok yeni tarihlerde olmasıdır (SPSS Statistics 22.0 – 13/08/2013, Eviews - 18/2/2014, R – 20/5/2015). Kullanacağımız programlar, öncelikle R ve Eviews olacağı için, bu programların spektral analiz modülleri de yeterince etkin sonuçlar vermemekte veya hatalı sonuçlar verebilmektedirler. Bunun nedeni ise, bu modüllerle yeterli çalışmaların yapılmamış olması, dolayısıyla da bu modüllerin gerçek veriler kullanılarak bağımsız analistler tarafından yeterince test edilmemiş olmasıdır.

Analizin en son bölümünde ise, çıkarımsal istatistik yöntemleri kullanılarak, Ulusal 100 endeksinde tespit edilen döngüler yorumlanacaktır. Ayrıca, spektral analiz yöntemiyle analizin geliştirilebilmesi için yapılması gerekenler belirtilecek, özellikle disiplinler arası çalışmanın yapılması gerekliliği araştırılacaktır.

3.2.3. R Programı Hakkında

R programı, Bell Laboratuvarları (Lucent Technology – eski AT&T firması) tarafından geliştirilen S yazılımının açık kodlu sürümü olup, istatistiki analizler için esnek ve güçlü bir ortam sağlamaktadır. R programı, hem veri analizi hem de, grafik gösterimleri için bütünleşmiş eklentilerden (paket) oluşmaktadır. Program eklentileri, istatistiki analiz için kapsamlı ve uyumlu araçlar sunmaktadır; kodu açık bir yazılım olduğu için, ihtiyaçlara ve kullanıcıların şartlarına göre paketler yazılarak, ana programa eklenebilir. R programı, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan istatistiksel modellerin kurulup analiz edilmesinde çok geniş imkânlar sağlamaktadır. Ayrıca, yazılımın grafik özellikleri de son derece gelişmiştir³⁰⁶.

Programın en önemli özelliği, açık kodlu bir yazılım olması, bu nedenle de bir lisanslama ücreti olmaması, dolayısıyla da bilim dünyasına hızlı ve yönlendirme

³⁰⁶ VENABLES, William N.; RIPLEY, Brian D., “Modern Applied Statistics with S”, Fourth Edition, Springer, New York, Mart 2002, ss.1-15.

olmaksızın hizmet verebilmesidir. Program, bilim insanları tarafından, bilim insanlarının daha kolay ilim yapabilmeleri için yazılmıştır.

R programı, özellikle ekonometri ve finansal analizler için çok sayıda uygulama modülüne (paket) sahiptir. Yazılımın, 64 bitlik çok çekirdekli paralel hesaplama özelliği ise, analizlerin çok hızlı yapılmasını sağlamaktadır. R programı için çok sayıda kaynağın ve çalışmanın bulunması, bu çalışmaların internet ortamında paylaşılması, diğer üstünlüklerindedir. R programı hakkında pek çok uluslararası bilim dergileri olumlu makaleler yazarken, pek çok internet tartışma ortamında (*blog*) programla ilgili deneyimler paylaşılmaktadır³⁰⁷.

Çalışmada, R programının kullanılmasının temel amacı, yapılmak istenen her analizin kodlarla yazılarak yapılması; dolayısıyla özellikle spektral analiz gibi yeni çalışmaların da, daha sağlıklı yapılabilmesini sağlamaktır. R programı açık kod bir program olduğu ve çekirdek kodları istatistikçiler tarafından geliştirildiği için, diğer istatistik programlarında olmayan pek çok spektral analiz yöntemi, istatistik yazılımcıları tarafından geliştirilmiş ve R programına eklenmiştir. Modern istatistik analiz yöntemler bölümünde açıklanan, Tekil Spektral Analiz (*Singular Spectral Analysis – SSA*) yöntemi için de geliştirilen “*spectral methods*” paketi Ocak 2015’de programa eklenmiştir. Bu çalışmada, R programının olanakları kullanılarak, hem zaman serileri, hem klâsik spektral analiz hesaplamaları, hem de modern spektral analiz paketleri de kullanılarak BİST Ulusal 100 Endeksi’nin frekans düzlemindeki modeli çıkarılacaktır.

3.2.4. Analizde Kullanılan Değişkenlerin Tanımlanması

R programı ile ilgili kodlar, bu çalışmanın Ek-3 ve Ek-4 kısımlarında verilmiştir. Ek-3, 6 Ocak 1995 – 8 Ocak 2015 yılları aralığındaki haftalık verilerin klâsik yöntemlerle analizi; Ek-4, modern yöntemlerle analizi ile ilgili kodlardır. Her kod içerisinde, fonksiyon satırında kullanılan değişkenler tanımlanmıştır, ancak bu bölümde kullanacağımız değişkenleri burada ayrıca belirtmek gerekirse;

Programda ve bu bölümde kullanılan değişkenler;

X100 : TL bazlı haftalık kapanış verilerini,

X100USD : ABD Doları bazlı haftalık kapanış verilerini,

³⁰⁷ McLEOD, A. Ian; YU, Hao; MAHDİ, Esam, “Time Series Analysis with R”, Handbook of Statistics, Elsevier Publishing, Cilt 30, Kanada, 2011.

$X100DUZ$: Birinci farkları alınarak düzleştirilmiş, TL bazlı haftalık kapanış verilerini,
 $X100T$: TL bazlı haftalık kapanış verilerinin trendini,
 $X100_{Trendsiz}$: TL bazlı haftalık kapanış verilerinin trendsiz verileri,
göstermektedir.

3.3. VERİLERİN SPEKTRAL ANALİZİ

Borsa günlük kapanış verileri, ayrık zaman serileri olmakla beraber, eşit aralıklı olmayabilirler. Hafta sonları, resmî ve dini tatil günlerinde ve bazı özel durumlarda borsa kapalı olduğu veya işlem yapılmadığı için veri olmayacaktır. Bu desendeki veriler, düzenli olmayan zaman serileri olduğu için, etkin olarak analiz edilebilmeleri için de uygun yazılımları kullanmak gereklidir.

Spektral analiz yöntemini kullanmak için ilk kural, verilerin durağan olmasıdır. Bu amaçla, öncelikle verilerin istatistiksel ve görsel analizini yapmak; verileri sadece birer sayı olarak değil, anlamı olan birer veri olarak değerlendirmek gerekir. Verileri görsel olarak değerlendirmek için BİST'in rakamlarla gelişiminin incelenmesi gerekir.

Spektral analiz yöntemiyle etkili bir analiz yapabilmek için, veri setimizin belli bir tarihsel uzunlukta olması gereklidir. Zaman Serileri İle İlgili Genel Kavramlar bölümünde belirtildiği gibi doğru analizin yapılabilmesi için gerekli olan veri, en uzun döngünün yedi katı uzunluğunda olmalıdır. Bunun yanında, bu katsayı, ortalamada trendin olmadığı durumlar için kabul edilebilir, ancak ekonomik zaman serileri için trendin olmaması gerçekçi bir varsayım olmadığından bu katsayının daha da büyük olması ve daha uzun süreli verilerin kullanılması daha sağlıklı analizlerin yapılmasını sağlayacaktır.

3.3.1. Verilerin İncelenmesi

BİST Ulusal 100 Endeksi için eldeki veri, başlangıcından itibaren olmakla birlikte, yirmi yedi yıllık bir veridir. Ayrıca, Tablo 3.7'de görüldüğü gibi, 1995 yılına kadar olan verileri kullanmak, analizimize fayda değil, yanlılık (*bias*) getirme ihtimali yüksektir. Çünkü:

- i. 1986 yılında faaliyete geçen borsanın ilk yıllardaki verileri, analiz için yanıltıcı olabilir.

- ii. 1988 – 1995 yılları aralığında borsada işlem gören şirket sayısı, işlem miktarı, işlem hacmi ve BİST 100 endeksi bilgileri çok küçük değerlerdedir.
- iii. Borsada, 1995 yılında çift seans uygulamasına geçilmiş ve bugüne kadar çift seans uygulaması devam etmiştir. Dolayısıyla, 1995’den itibaren elde edilen veriler, eşit işlem süresinde yapılan işlemler sonucu elde edilmiş verilerdir.
- iv. Şekil 3.1, 4 Ocak 1988 – 4 Ocak 2015 tarihleri arasındaki Ulusal 100 Endeksi grafiğini göstermektedir. Grafik, 1995 yılından itibaren sürekli artan bir trende sahip olmuştur.

Bu şartlar altında, 1995 yılında dahi borsa verileri, gelişmekte olan ülkeler borsalarının özelliklerine ulaşmış olmamasına rağmen, spektral analizin belli bir tarihsel uzunlukta veriye ihtiyaç duyması nedeniyle; Ulusal 100 endeks verilerinin spektral analizi için, başlangıç noktası 2 Ocak 1995 olarak alınmıştır. Şekil 3.1.’de görüldüğü üzere, Ulusal 100 endeksinin, bir trende ve konjonktür dalgalanmalara sahip olduğu kesindir. Şekil 3.2’de ise endeks USD cinsinden gösterilmiştir. Burada, daha az eğimli bir trend gözlemlenirken, daha fazla döngüsel hareket ve salınım vardır.

Mevsimsel ve rastgele dalgalanmalar ise Şekil 3.3. ve Şekil 3.4’deki beş yıllık dilimlerle çizilmiş grafiklerde gözlenmektedir.

Spektral analiz testlerinin doğru yapılabilmesi, ele alınacak zaman serisinin içindeki döngülerin doğru tespit edilmesiyle başlar. Dolayısıyla, yapılacak örneklemelerin ve zaman serisinin boyutunun doğru tespiti en önemli gerekliliktir. Çalışmamızda, bizi en fazla zorlayacak konu BİST’in yeni bir borsa olması ve dolayısıyla da BİST Ulusal 100 Endeksinin yeterli uzunlukta veriye sahip olmamasıdır. BİST’in maksimum veri uzunluğu 30 yıldır; dolayısıyla da, analiz edilebilecek en uzun döngü de 30 yıldır. Ancak, sağlıklı analiz yapılabilmesi, veri uzunluğunun en uzun döngüden yedi kat daha uzun olması gerekmektedir. Dolayısıyla, bizim sağlıklı olarak belirleyebileceğimiz en uzun döngü süresi 4,3 yıldır (dört yıl ve dört ay).

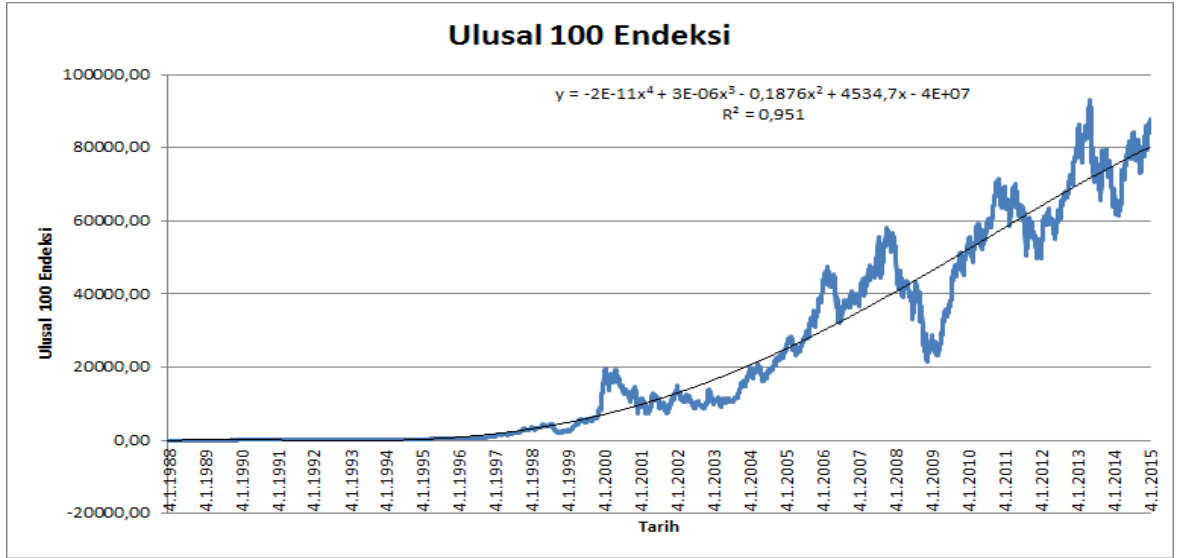
BİST Ulusal 100 Endeks verilerinin günlük ve seanslık kapanışları kayıt altında olduğundan ve resmi kaynaklardan bu bilgilere erişilebildiği için; tüm analiz, kapanış anındaki durumu gösteren ve burada belirtilen seans kapanış değerlerine göre yapılabilecektir. Ancak, endeksin gün içindeki değerlerinin kayıtlı ve elde edilebilir olmaması, gün içinde oluşan döngüleri analiz edebilmemizi engellemektedir.

Tablo 3.7: BİST Tarihsel Veriler Tablosu (2015)

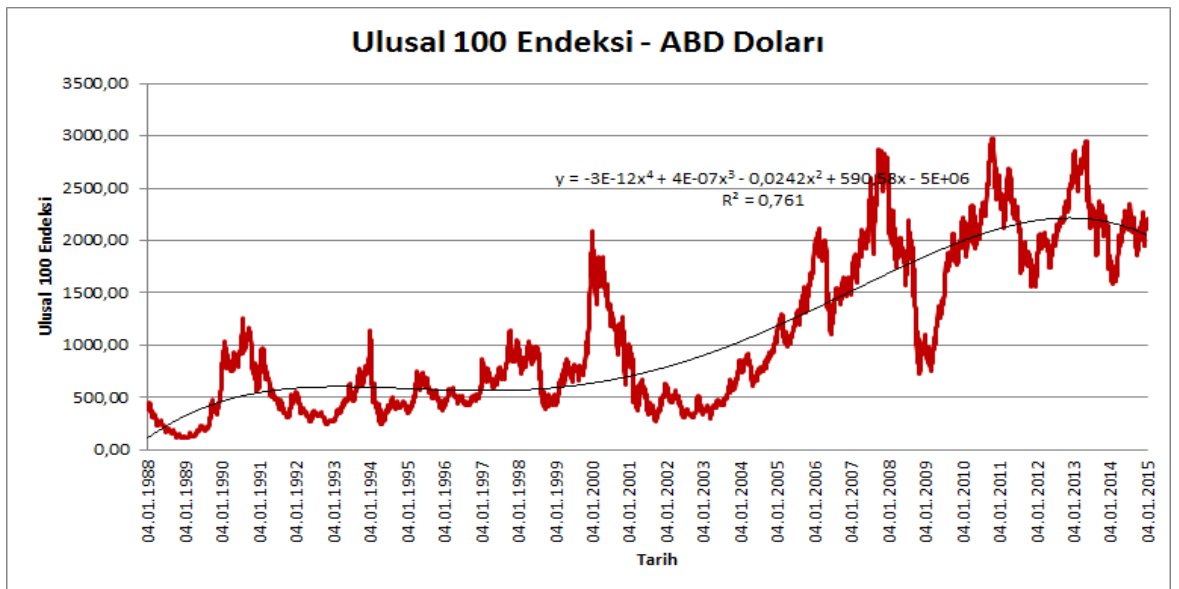
Yıllar	İşlem Gören Şirket Sayısı	Toplam İşlem Miktarı (Milyon USD)	Toplam İşlem Hacmi (000)	BİST100 Endeksi (TL)	BİST100 Endeksi (USD)
1986	80	13	3,273		
1987	82	118	14,731	6,89	393,47
1988	79	115	31.679	3,74	119,82
1989	76	775	238,056	22,18	560,57
1990	110	5.851	1.537,387	32,56	642,63
1991	134	8.536	4.531,153	43,69	501,49
1992	145	8.567	10.285,263	40,04	272,61
1993	160	21.771	35.249,007	206,83	833,28
1994	176	23.202	100.062,030	272,57	413,27
1995	205	52.357	306.253,734	400,25	382,62
1996	228	37.737	390.917,238	975,89	534,01
1997	258	58.104	919.783,736	3.451,26	982,07
1998	277	70.396	2.242.531,233	2.597,91	484,01
1999	285	84.034	5.823.858,228	15.208,78	1.654,17
2000	315	181.934	11.075.884,720	9.437,21	817,49
2001	310	80.400	23.938.148,750	13.782,76	557,53
2002	288	70.756	33.933.250,900	10.369,92	368,26
2003	285	100.165	59.099.780,410	18.625,02	778,43
2004	297	147.755	69.614.651,500	24.971,68	1.075,12
2005	306	201.763	81.099.503,190	39.777,70	1.726,23
2006	322	229.642	91.634.552,160	39.117,46	1.620,59
2007	327	300.842	116.824.184,900	55.538,13	2.789,66
2008	326	261.082	114.796.860,900	26.864,07	1.027,98
2009	325	316.326	205.986.913,300	52.825,02	2.068,18
2010	350	425.747	204.083.247,400	66.004,48	2.499,75
2011	375	423.851	202.149.186,200	51.266,62	1.580,45
2012	422	348.606	174.290.128,500	78.208,44	2.561,94
2013	438	431.273	198.857.864,700	67.801,73	1.853,28
2014	437	399.145	207.100.459,60	85.721,13	2.145,18

Kaynak: Borsa İstanbul, 2015

Gün içindeki değişimlerin analiz edilememesi ise; spektral analiz, 10 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 2 saat, 3 saat aralıklarındaki kısa süreli döngüleri belirleyememesini, dolayısıyla da saatlik olayların endeks üzerindeki etkisinin analiz edilmesini engelleyecektir. Ancak, daha evvel de belirttiğimiz gibi, bu verilerin elde edilmesi durumunda bile, teknik olanakların yeterli olmaması nedeniyle de gün içindeki değişimlerin analizlerinin yapılabilmesi oldukça zordur. Bu analizde kullanılacak veriler, haftalık borsa seans kapanış endeksi olduğundan, veriler haftanın en son işlem gününün öğleden sonra seansının kapanışı olarak alınacaktır.



Şekil 3.1. 1988 - 2015 Ulusal 100 Endeks Grafiği – TL Cinsinden



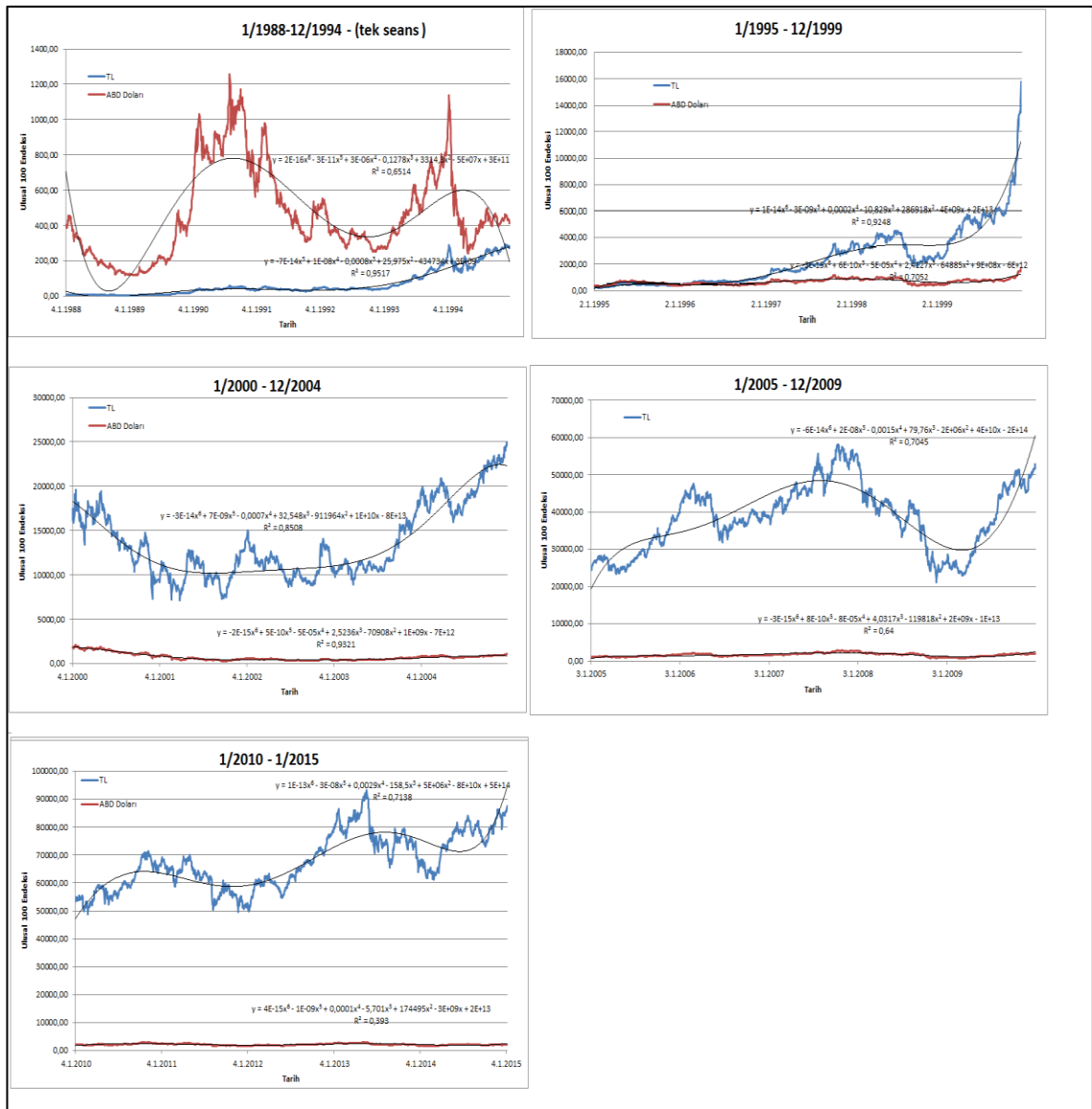
Şekil 3.2. 1988 - 2015 Ulusal 100 Endeks Grafiği – USD Cinsinden

Seans kapanışlarıysa, istisnalar hariç genellikle aynı saatte olduğu için verilerimiz olay temelli olmasına rağmen, zaman haftalık ekseninde gösterilerek, analizin yapılması kolaylaştırılacaktır. Veriler BİST'in elektronik sisteminden kaydedilmiş ve borsanın resmi veri bankasından temin edilmiştir. Haftalık kapanış verileri, spektral analiz için en uygun veri olan sürekli gerçek aralıklı oranlı ölçülmüş veriler olarak değerlendirilebilir. Hafta sonu, resmî ve dini tatiller ve bazı özel durumlar nedeniyle oluşan kaymalar dikkate alınmamıştır.

3.3.2. Verilerin Zaman Düzleminde Gösterimi

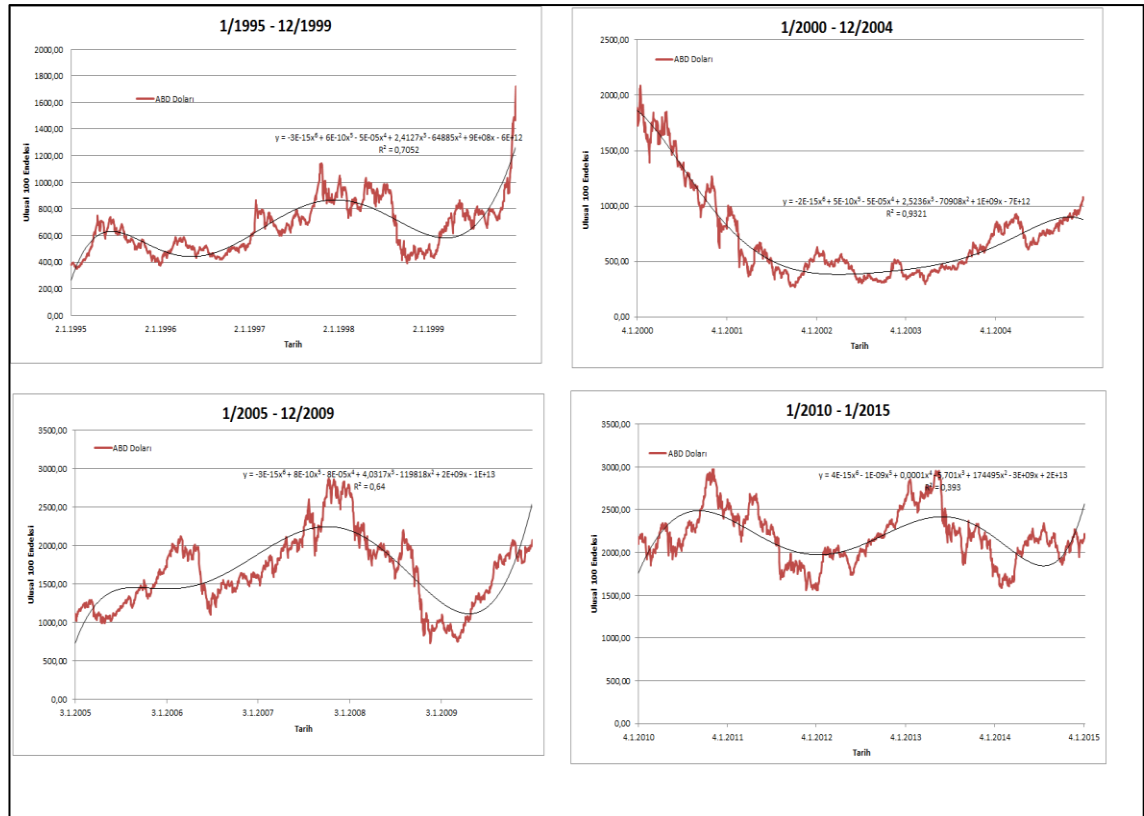
Verilerin görsel analizi ve mümkün ise, verileri etkileyen faktörlerin belirlenmesi, analizi belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Şekil 3.3. Ulusal 100 kapanış verilerinin, TL ve ABD Doları cinsinden grafiğini vermektedir. Şekil 3.4. ise, aynı verilerin sadece ABD Doları cinsinden grafiğini vermektedir.

2 Ocak 1995 – 8 Ocak 20015 tarihleri arasındaki 7311 günlük sürede, 4996 adet veriyle elde edilen bu grafiklerde, borsada trend, konjunktur, mevsimsel ve rastgele salınımların olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Beş Yıllık Dilimlerle Ulusal 100 Endeks Verileri (TL ve USD Cinsinden)

Şekil 3.4.'de Ulusal 100 Endeksi sadece ABD Doları cinsinden gösterilmiştir. TÜFE ile ABD Doları arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu kabul edersek, verileri ABD Doları cinsinden göstererek enflasyon etkisinin olmadığı durumdaki değişimler gösterilebilir. Bu grafiklerde Ağustos 1999 – Ağustos 2002 dönemi aralığındaki aşırı yükseliş ve daha sonra düşüş trendi dışındaki zaman dilimlerinde sadece mevsimsel ve rastgele dalgalanmalar görülmektedir. Ağustos 1999 – Ağustos 2002 döneminde, ülkemizde iki Marmara Depremi olmuş, Anayasa Kitabı adıyla da anılan siyasi kriz ekonomik krize dönüşmüş ve 3 Kasım 2002 genel seçimlerinde Adalet ve Kalkınma Partisi'nin kazandığı seçim ortamına girilmiştir.



Şekil 3.4. Beş Yıllık Dilimlerle Ulusal 100 Endeks Verileri (USD Cinsinden)

Ekonomik verileri, tek başına sayı olarak ele almak ve değerlendirmek çok sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Zaman serileri ile analiz, verileri tarihleri ile kayıt ettiği için, olayları değerlendirirken, verileri olaylardan ayırarak analiz edip, sadece verilere dayalı sonuçlara ulaşmak doğru sonuçlar vermeyecektir. Ekonomi, toplumun fonksiyonlarından biridir; ancak bağımsız bir fonksiyon değildir. Toplumların, sosyal,

politik, kültürel, dini, jeopolitik, tarihsel yapıları gibi ekonomik yapıları da, o toplumu oluşturan fonksiyonlarıdır. Tüm bu fonksiyonlar birbirini etkilemektedir ve ayrıca zamanla da değişmektedir. Aynı zamanda, toplumlar da diğer toplumlardan zamanla etkilenirler ve fonksiyonları, diğer toplumların etkisiyle de değişir. Özellikle, küreselleşme sonucu bu etkileşimler artmıştır. Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nin ve Yugoslavya'nın dağılması; Çin Halk Cumhuriyeti'nin sosyalizmden kapitalizme geçişi gibi olaylar küreselleşme sonucu olmuş, dolayısıyla da bu ülkelerin halklarının sosyal, kültürel ve ekonomik yapıları değişmiştir.

Spektral analiz ile yapacağımız incelemede elde edeceğimiz sonuçlar, sadece Ulusal 100 endeksindeki döngüleri gösterecektir. Bu çalışmayı okuyan ve bu konuyla ilgilenen bilim insanları ve araştırmacılar, diğer ekonomik göstergeleri de kullanarak çoklu spektral analiz yöntemleriyle Türkiye Ekonomisi'ni inceleyebilirler. Ayrıca, toplumun sosyal, kültürel, politik yapısını gösteren endeksler kullanılarak, spektral analiz yöntemiyle literatürde uygulaması çok fazla olmayan çalışmaları yapabilirler.

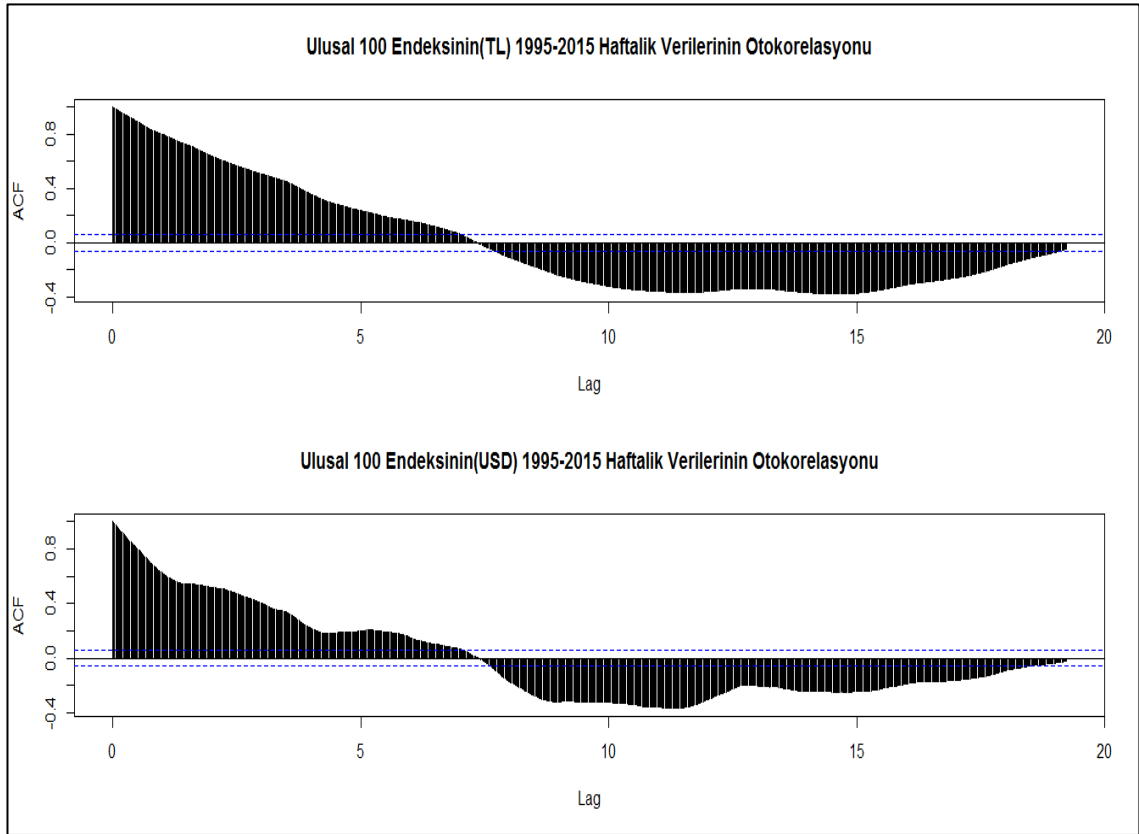
3.3.3. Verilerin Zaman Düzleminde Bileşenlerine Ayrıştırılması

Temizlenmiş BİST Ulusal 100 haftalık kapanış verileri, R programının *timeSeries* paketi kullanılarak incelenecektir. Bu paketi düzgün olmayan tarihsel verilere sahip günlük kapanış verileri için uygulamak, sağlıklı sonuç vermeyebilir. Bu nedenle, haftalık kapanış verileri kullanılacaktır. Bu bölümde, verilerin oluşturduğu zaman serisi, trend, mevsimsel ve rastgele bileşenlerine ayrıştırılacaktır. Ancak, daha önce verilerin durağanlığını istatistiksel olarak test etmek gerekir. Ortalamanın ve varyansın zamanla değişmemesi, otokorelasyonun da zamanla değil, gecikme ile değişmesinin durağanlık şartı olduğu göz önüne alındığında, öncelikle yukarıdaki bölümdeki görsel analizlerde, verilerin durağan olmadığı görülmüştür.

İstatistik testleri kullanılarak durağanlık analizi ise, R programında *acf* fonksiyonu ile korelogramı incelenerek ve *fUnitRoots* paketi kullanılarak da birim kök testiyle yapılabilir.

Durağanlık araştırmasındaki ikinci adım, TL ve USD Bazlı Ulusal 100 endeksinin korelogramını incelemektir. Bir zaman serisi durağan ise, otokorelasyon fonksiyonunun birinci veya ikinci gecikmede sıfırı kesmesi gerekir. Bir seride gecikme sayısı artırıldığında otokorelasyon fonksiyonunun aldığı değerler sıfıra yaklaşıyorsa seri

durağandır, aksi halde durağan değildir. Şekil 3.5’te hem TL bazlı hem de USD bazlı Ulusal 100 Endeksinin haftalık kapanış değerlerinin korelogramı R programı yardımıyla çizilmiştir. Burada, her iki grafikte de Ulusal 100 Endeksinin, hem TL bazlı hem de USD bazlı otokorelayonu, birinci ve ikinci gecikmelerde sıfırı kesmemekte, yavaş azalan bir eğimle sıfıra yaklaşmaktadır; dolayısıyla serilerin, otokorelayon incelemesi sonucu durağan olmadıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. TL ve USD Bazlı Ulusal 100 Endekslerinin 1995-2015 Aralığında Haftalık Kapanış Verilerinin Korelogramı

Durağanlık araştırmasında üçüncü adım, birim kök testleridir. Daha önceki bölümlerde de belirttiğimiz gibi; birim kök bulunan bir seri, rastgele yürüyüş özelliği gösteren bir seri olarak ifade edilir ve zayıf formda etkinliğinin kabul edilmesini gerektirir. Durağan bir seride ani şoklar sonucu ortalama (veya trend) değerinden sapmalar olsa dahi, değerler zamanla ortalama (veya trend) değerine yaklaşır. Bu trendden geçici sapmalar olsa bile, zaman içinde serilerin trend değerine döneceği, şokların bertaraf edileceği anlamına gelir. Ancak, değişkenler üzerindeki etkileri birkaç dönemde yok olan geçici şokların yanında, etkileri uzun süre devam eden kalıcı şokların

varlığı da bilinmektedir. Birim kökün varlığı, bu kalıcı şoklara işaret eder. Çünkü, kalıcı şokların oluşturduğu trend, serinin belirli bir değere doğru yaklaşmasını engellemektedir. Değişkenlerin belirli bir değere yaklaşması olarak tanımlanan durağanlık açısından, bu trend, durağan olmayan bir özellik taşır ve şokların tanımı gereği, önceden öngörülemeyen tesadüfi niteliğinden dolayı, stokastik trend olarak adlandırılır. Birim kök testiyle de, bu trendin varlığı test edilebilir.

Hem TL bazlı hem de USD bazlı Ulusal 100 endeksine uygulanan, Dickey-Fuller, Augmented Dickey-Fuller istatistik birim kök testlerinin sonuçları aşağıdadır:

Title:
Ulusal 100 Endeksinin (TL) 1995-2015 Haftalık Verilerinin Birim Kök Testi

Test Results:
PARAMETER:
Lag Order: 100
STATISTIC:
DF: -2.2884
P VALUE:
t: 0.4394
n: 0.9624

Augmented Dickey-Fuller Test

data: X100
Dickey-Fuller = -2.8742, Lag order = 10, p-value = 0.2083
alternative hypothesis: stationary

Title:
Ulusal 100 Endeksinin (USD) 1995-2015 Haftalık Verilerinin Birim Kök Testi

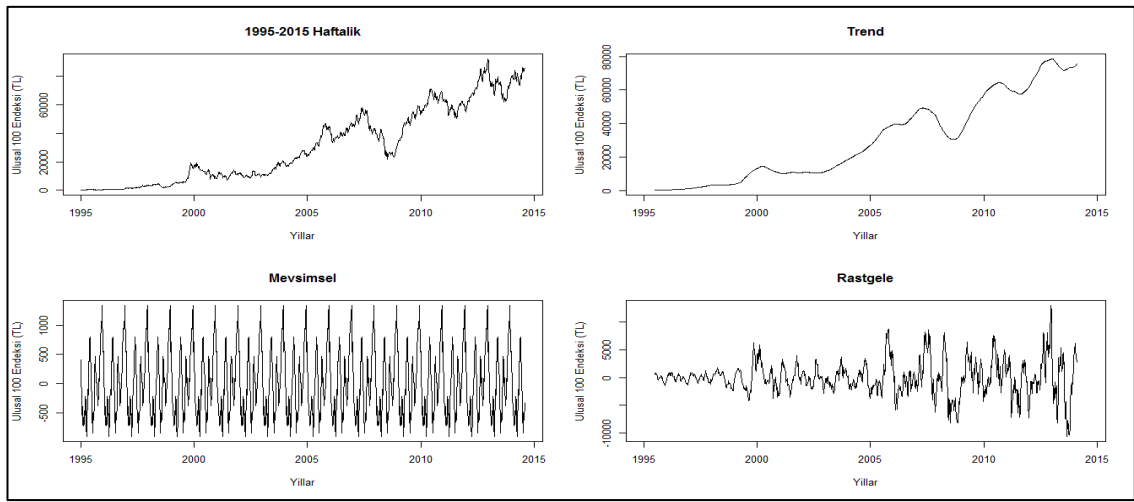
Test Results:
PARAMETER:
Lag Order: 100
STATISTIC:
DF: -2.1133
P VALUE:
t: 0.5372
n: 0.9673

Augmented Dickey-Fuller Test

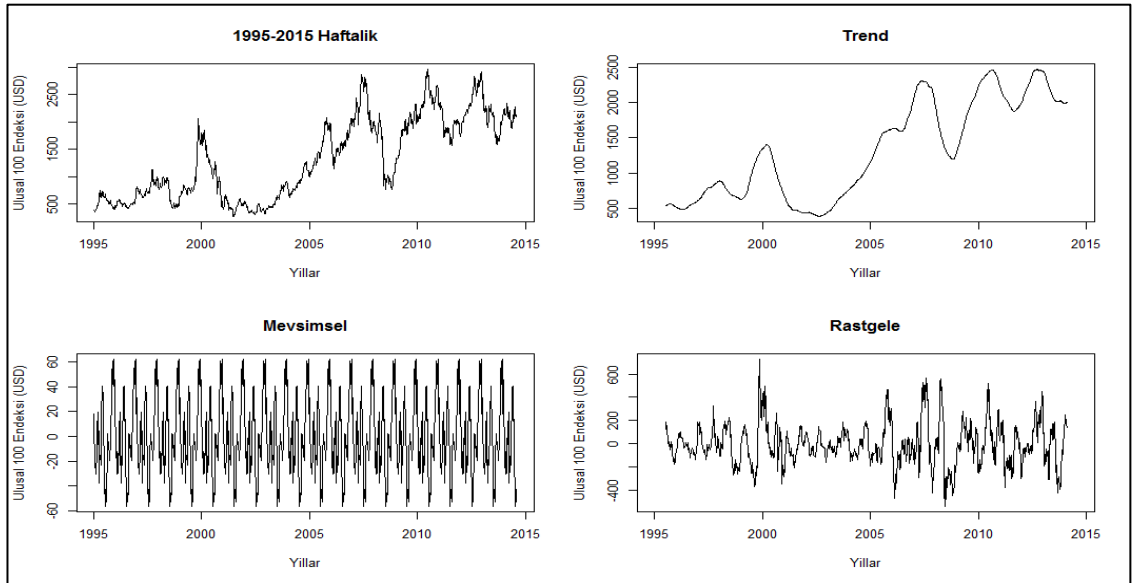
data: X100USD
Dickey-Fuller = -3.0983, Lag order = 10, p-value = 0.1134
alternative hypothesis: stationary

Testlerde p değeri %5 istatistiksel anlamlılık değerinden büyüktür, dolayısıyla serilerin durağan olmadıkları istatistiksel testlerle de kanıtlanmıştır.

Bir sonraki aşamada ise, R programını kullanarak, durağan olmayan ham zaman serileri bileşenlerine ayrıştırılabilir. Böylece, spektral analiz yöntemiyle analiz etmeden önce, serilerin hangi periyotlarda döngülere sahip olabilecekleri konusunda bir ön fikir edinilebilir. R programının “*stats*” paketinden *decompose()* fonksiyonu kullanılarak elde edilen, Şekil 3.6’de, 1995-2015 yılları aralığında TL bazlı Ulusal 100 Endeksinin haftalık kapanış verilerini (sol üst), trend (sağ üst), mevsimsel (sol alt) ve rastgele (sağ alt) bileşenleri gösterilmektedir. Şekil 3.7. ise, aynı grafiklerin USD Bazlı olarak analiz edilenleridir.



Şekil 3.6. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2015 Aralığındaki Haftalık Kapanış Değerleri ve Trend, Mevsimsel ve Rastgele Bileşenleri



Şekil 3.7. USD Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2015 Aralığındaki Haftalık Kapanış Değerleri ve Trend, Mevsimsel ve Rastgele Bileşenleri

Yapılan analizler sonucunda, hem TL bazlı hem de USD bazlı Ulusal 100 Endeksinin haftalık kapanış verilerinin durağan bir yapıda olmadıklarını, trende, mevsimsel ve rastgele bileşene sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle, grafiklerde trend bileşeninin aşağı ve yukarı hareketlilik göstermesi, Ulusal 100 Endeksinin ayrıca konjonktür dalgalanma içerebileceğini göstermektedir. Verilerin daha iyi incelenebilmesi için, bundan sonraki bölümlerde daha etkin yöntemler kullanılacaktır.

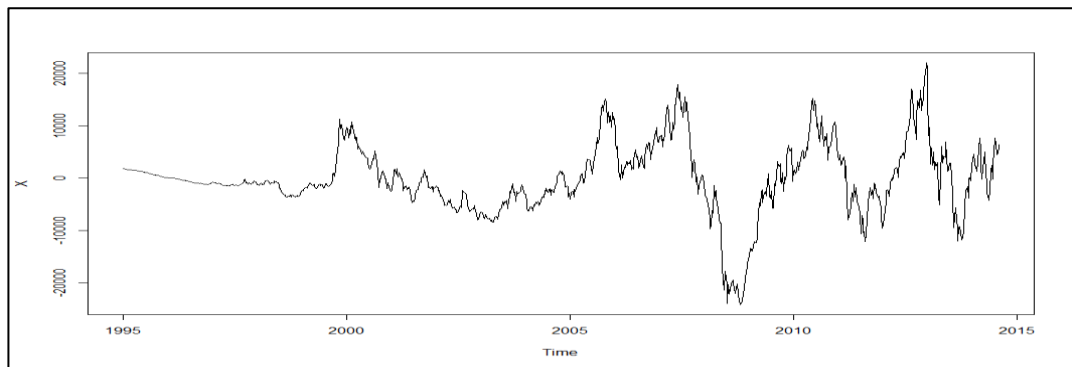
Ayrıca, ülkemizde enflasyon her ne kadar büyüme rakamlarıyla farklılık gösterse bile, 1990'lı yıllardaki kadar yüksek enflasyon rakamları olmadığı için, analizde sadece TL bazlı Ulusal 100 Endeksi kullanılacaktır.

3.3.4. Verilerin Klâsik Spektral Analiz Tekniği ile İncelenmesi

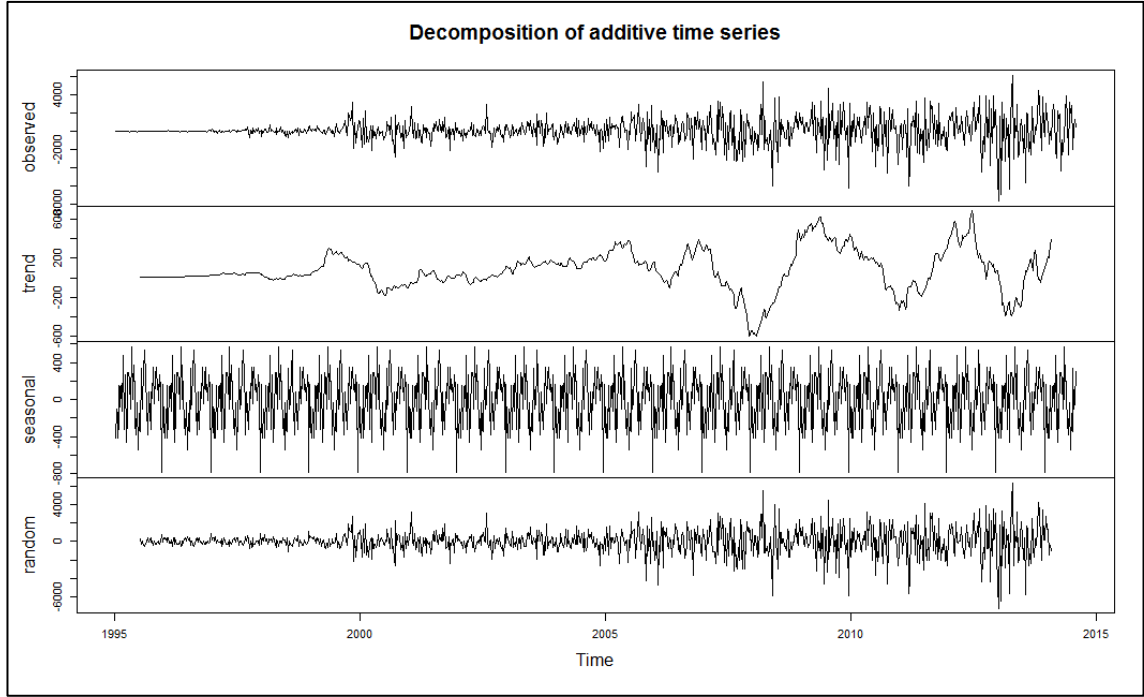
Öncelikle, 1995-2015 yılları arasındaki haftalık verileri incelenirse, Şekil 3.6'da gördüğümüz gibi, verilerin bir trende sahip olduğu ancak, trendin de dalgalı olduğu görülmektedir. Bu dalgalanma, verinin bir konjonktüre sahip olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle öncelikle veriden trend bileşenini ($X100T$) ayırmak gereklidir.

$$X100_{Trendsiz} = X100 - X100T$$

$X100_{Trendsiz}$ verisi, Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Ancak, trendi ayrıştırılmış verinin de görsel incelemesi ve birim-kök testleri yapıldığında, durağanlığın henüz sağlanamadığı ve bu nedenle spektral analizinin yapılmasının sağlıklı sonuç vermeyeceği söylenebilir. Bu nedenle, serinin birinci farkları alınarak düzeltilmiş ve bu fark serisi durağanlık şartını sağlamıştır. Elde edilen düzeltilmiş seri, Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu durumda, elde edilen seriye spektral analiz yöntemi uygulanabilir.

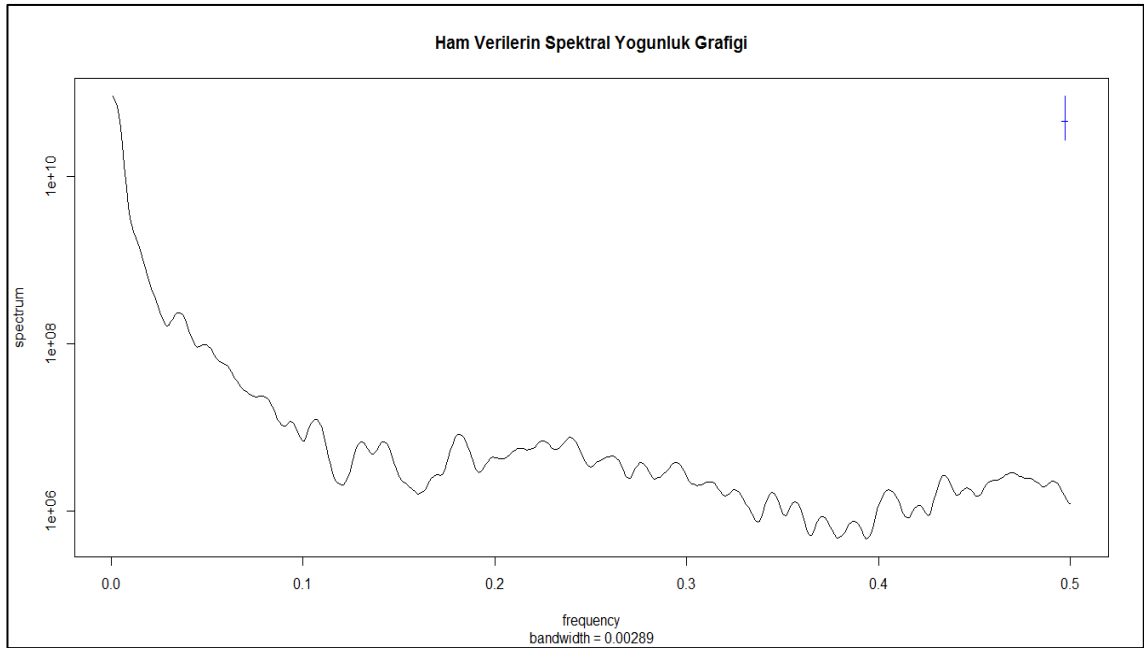


Şekil 3.8. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Trendi Ayrıştırılmış Haftalık Kapanış Değerleri.



Şekil 3.9. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Trendi Ayrıştırılmış Haftalık Verinin, Konjonktür (Trend), Mevsimsel ve Rastgele Değerleri Bileşenleri.

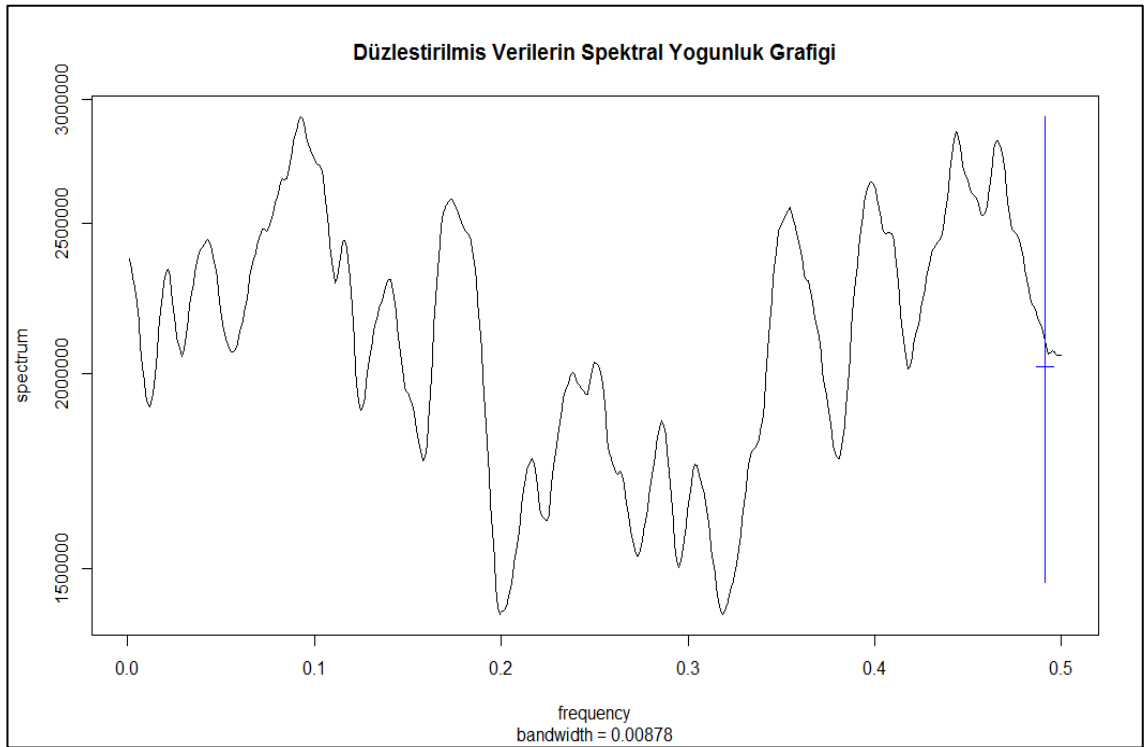
Verilerin spektral analizi için, TSA eklentisinden *spec()* fonksiyonu ve/veya *stats* paketinden *spectrum()* fonksiyonu kullanılacaktır.



Şekil 3.10. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Haftalık Ham Verinin Spektral Yoğunluk Grafiği.

Şekil 3.10'daki grafik, Granger'in New York borsası için yapmış olduğu çalışmayla benzerlik göstermektedir. Ancak, bu veriler ham olduğu için trend bileşenin varlığı sıfır frekansa yakın bölümdeki spektral yoğunluğu artırmaktadır. Diğer frekanslar; 25 hafta, 10 hafta, 8 hafta, 7,5 hafta, 5,5 hafta vb. gibi şeklindedir.

Ancak bu analiz, trend içerdiği için, çok doğru bir sonuç vermeyecektir. Daha uzun periyoda sahip döngüler, trend bileşeni nedeniyle kaybolmuştur. Şekil 3.11'deki grafik farkları alınarak düzleştirilmiş verinin, spektral yoğunluğunu göstermektedir. Verilerin 2 yıl konjonktür, 1 yıl, 4,5 ay gibi mevsimsel ve 2 ay, 1,5 ay, 1,2 ay, 1 ay, 20 gün ve 15 günlük periyotlarda rastgele dalgalanmalara sahip olduğu belirlenmiştir. Bu dalgalanmalar içerisinde, 2 aylık, 1,2 aylık, 20 günlük ve 15 günlük dalgalanmaların tepe noktalarına sahip olması, BİST Ulusal 100 endeksinin belirtilen bu periyotlarda önemli dalgalanmalara sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.11. TL Bazlı Ulusal 100 Endeksinin 1995-2005 Aralığındaki Haftalık Düzleştirilmiş Verinin Spektral Yoğunluk Grafiği.

3.3.5. Verilerin Modern Spektral Analiz Tekniği ile İncelenmesi

Tekil Spektral Analiz (*Single Spectral Analysis – SSA*) ve Dalgacık Analizi (*Wavelet Analysis*), modern spektral analiz teknikleri içerisinde en çok kullanılan analiz yöntemleridir. R programı, modern spektral analiz teknikleri bölümünde açıklanan tüm yöntemler için eklentilere (*packages*) sahip olmakla beraber buradaki analiz, sadece SSA tekniği kullanılarak yapılacaktır. Ayrıca, yapılan araştırmalarda SPSS, Eview gibi diğer istatistik programlarında modern spektral analiz özelliklerinin bulunmadığı görülmüştür.

3.3.5.1. Tekil Spektral Analiz (SSA) Yöntemiyle Analiz

Tekil Spektral Analiz (*Single Spectral Analysis – SSA*) birbiriyle bağlantısı olan pek çok yöntemi bir arada bulunduran geliştirilmiş iyi bir zaman serisi ve tahmin metodolojisidir. SSA uygulamaları, parametrik olmayan zaman serilerinin ayrıştırılması ve filtrelemeden başlayarak parametre hesaplama ve tahminlemesine kadar uzanmaktadır. Buradaki SSA analizinde, genellikle SSA'in tanımlayıcı analiz özelliği kullanılacak olmasına rağmen, model oluşturma ve parametre tahmini için gerekli olan araçlar da açıklanacaktır. Uygulanacak SSA yöntemi için herhangi bir model, önceden varsayılmamasına rağmen, alt-uzay modeli olarak adlandırılan model uyarlamalı olarak oluşturulmuş olup, bu modelin karşılığı olan zaman serisi sınıfı, ortamdaki gürültü tarafından bozulmuş ve durağan olmayan özelliğe sahip olan doğrusal tekrarlamalı ilişkilerden ibarettir (*linear recurrence relations – LRR*). SSA analizinin en büyük özelliği, verilerden trendin ayrıştırılması veya verideki periyotların önceden belirlenmesine gerek duymamasıdır. Ayrıca, ayrıştırmada toplamsal veya çarpımsal yöntemlerden hangisinin kullanılması gerektiğinin önceden belirlenmesi de gerekmez. Burada verilerin SSA analizi, R istatistik yazılımının *rssa* paketi kullanılarak yapılacaktır. *rssa* paketinin özelliği hem *ts* hem de *zoo* sınıfındaki verilerle çalışabiliyor olmasıdır.

SSA analizinin en basit görevlerinden biri, gözlemlenen zaman serisini, hiçbir önsel bilgiye sahip olmadan, yorumlanabilir bileşenlerin toplamına ayrıştırmaktır. SSA işlemindeki birinci aşamanın ilk adımı, asıl zaman serisinin L boyutlu gecikmeli vektörlere bağlanmasıdır. İkinci adım ise, ayrıştırmadır (*decomposition*). Durağan olmayan seriler için seriyi, $X = \sum_{i=1}^L \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T = X_1 + \dots + X_L$ olarak gösterirsek,

$P_i = U_i$, X 'in sol tekil vektörü, $Q_i = \sqrt{\lambda_i}V_i$ ve V_i , X 'in sağ tekil vektörü, λ_i XX^T 'nin özdeğerleri (*eigenvalues*) ve $\sqrt{\lambda_i}$, P_i , Q_i ise özüçlü (*eigen triple – ET*) olarak adlandırılır. Yeniden yapılanma (*reconstruction*) olarak adlandırılan ikinci aşamanın ilk adımı ise, özüçlü gruplamadır (*eigen triple grouping*). İkinci adım ise, çapraz ortalamadır (*diagonal averaging*).

Gözlemlenen zaman serilerinin uygunluk ayrıştırmasının yapılabilmesi için SSA parametrelerinin nasıl ve ne zaman seçileceği belirlenmelidir. Ayrılabilirlik kavramı, zaman serilerini farklı frekanslardaki sinüs dalgalarına ayırarak, trend, mevsimsellik ve diğer salınımları belirler. Serilerin bileşenleri şu ilke yardımıyla belirlenebilir. Bir özvektörün şekli, bu özvektörü üreten zaman serisi bileşeni şeklinde kopyalar veya çoğaltır. Böylece, özvektörlerin grafikleri, tanımlama süresince yardımcı olabilir.

Ayrıştırma için oldukça faydalı bilgiler w-korelasyon matrisi içinde bulunmaktadır. Bu matris, yeniden oluşturulmuş zaman serisi bileşenleri arasındaki ağırlıklı ilişkiden oluşmaktadır. Ağırlıklar, zaman serisi terimlerinin yörünge matrisi içine girişlerinin sayısını yansıtır. İyi ayrılmış bileşenler küçük korelasyona sahip iken, kötü ayrılmış bileşenler büyük korelasyona sahiptir. Böylece, w-korelasyon matrisine bakarak, yeniden yapılandırılmış ilişkili ilk serinin grupları bulunabilir ve bu bilgi, buna bağlı olarak gruplama yapmak için kullanılabilir. Burada, pencere genişliği, ayrıştırılmak istenen periyoda bölünebilen uzunlukta seçildiğinde, daha etkin sonuç elde edilebilir. Küçük L değerine sahip SSA $2L-1$ düzeyinde bir filtreyle seriyi düzleştirir. Genellikle, pencere genişliği seçimi önemli olmasına rağmen, sonuç, L 'in küçük değişiklikleri açısından karardır.

Eğer zaman serileri karmaşık yapıya sahip ise, Ardışık SSA (*Sequential SSA*) yöntemini kullanılır. İki aşamadan oluşan Ardışık SSA'nın birinci aşamasında kısa pencere aralığı seçilerek trend ayrıştırılır, daha sonra periyodik bileşenler tespit edilir ve $L \sim N/2$ uzunluktaki artıklar ayıklanır. Bu çalışmada kullandığımız BİST Ulusal 100 Endeksi trend içerdiği için Ardışık SSA ile analiz edilmesi gereklidir.

`rssa` paketinin, `ssa(x, L, ..., kind, svd.method, force.decompose = TRUE)` fonksiyonu ayrıştırma işlemi için kullanılırken `reconstruct(x, groups)` fonksiyonu yeniden yapılanma için kullanılır. Bu fonksiyonlarda x , eşit aralıklarla elde edilmiş tek veya çok değişkenli sayısal vektör veya *ts* veya *zoo* zaman serisi sınıfı olabilir. L , pencere genişliğini; *kind*, kaç değişkenin analiz edileceğini belirler. Farklı Tek Değer

Ayrışımı (*Single Value Decomposition – SVD*) yöntemleri ise, *svd.method* argümanı ile belirlenirken, *force.decompose* argümanı ise, ayrıştırma aşamasını gerçekleştirir. *Groups* argümanı ise, özüçlü gruplamayı (*eigen triple grouping*) belirler. *reconstruct* fonksiyonuyla elde edilen değer, girişte gruplanmış seriye karşılık gelecektir; ayrıca *reconstruct* fonksiyonu, giriş serisinin tüm özelliklerini korumaktadır. Dolayısıyla da, *reconstruct* fonksiyonu girişteki seriyle aynı sınıfta çıkış verir. Bu özellik *drop* argümanı ile değiştirilebilir.

Kullanılacak olan *svd.method*, doğru sonuç elde edilmesi için önemlidir. Eğer zaman serisi uzun ($N > 100$) ise veya pencere boyu kısa ($L > 50$) ise, “*nutrlan*” yöntemi kullanılarak, kesilmiş SVD algoritması daha iyi sonuç verebilir. Kısa pencere boyları için ise, “*eigen*” veya “*svd*” yöntemi daha iyi sonuç verecektir. “*propack*” yöntemi daha hızlı ve sayısal olarak daha kararlı olmasına rağmen, fazla sayıda faktör vektörüyle çalışıldığı zaman fazla önemli bellek tüketimine neden olur. Bu arada, fonksiyonun varsayılan yöntemi “*nutrlan*” yöntemi olmasına rağmen, eğer seçilen yöntem en uygun yöntem değilse, *ssa* fonksiyonu seçilen yöntemi düzeltmeye çalışacaktır.

Gerekli nesnelerin otomatik hesaplanma ilkesi paketin uygulanmasında kullanılmıştır. Örneğin, ayrıştırma sırasında 10 adet özüçlü (*eigen triple*) hesaplanmışsa, ayrıştırma 11-15 adet özüçlüyü kendiliğinden hesaplayabileceğinden, kullanıcı ilk 15 bileşeni kullanarak yeniden yapılanma yapabilir. Ayrıca, daha önceden yapılmış olan hesaplamalar saklanarak tekrar kullanılmaları gerektiğinde hafızadan çağrılarak, zaman ve hafızanın, daha verimli ve etkin kullanımı sağlanır. Bir SSA nesnesinin iç görüntüsü, \$ işareti kullanılarak ortaya çıkarılabilir; özellikle, *lamda* özvektörleri, *U* özvektörler matrisini ve *V* de faktör matrisini verir.

BİST Ulusal 100 endeksi Şekil 3.3 ve Şekil 3.6’ın gösterdiği gibi, veriler karmaşık trend içermektedir. Bu da zaman serilerinin tam olarak ayrıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, ayrıştırma aşamasını sırayla yapmak gerekir. Öncelikle, trendi ayrıştırmak için, olası en küçük uzunluktaki pencereyi seçmek gerekir. Burada, pencere boyu $L=52$ olarak seçilebilir. Pencerenin boyu, periyot ile bölünebilir bir sayı olmalıdır. İlk aşama olan ayrıştırma ve gösterim yapıldığında, sonuç *ssa*-nesnesinin özeti aşağıda verilmiştir;

```

Call:
ssa(x = x100, L = 52)

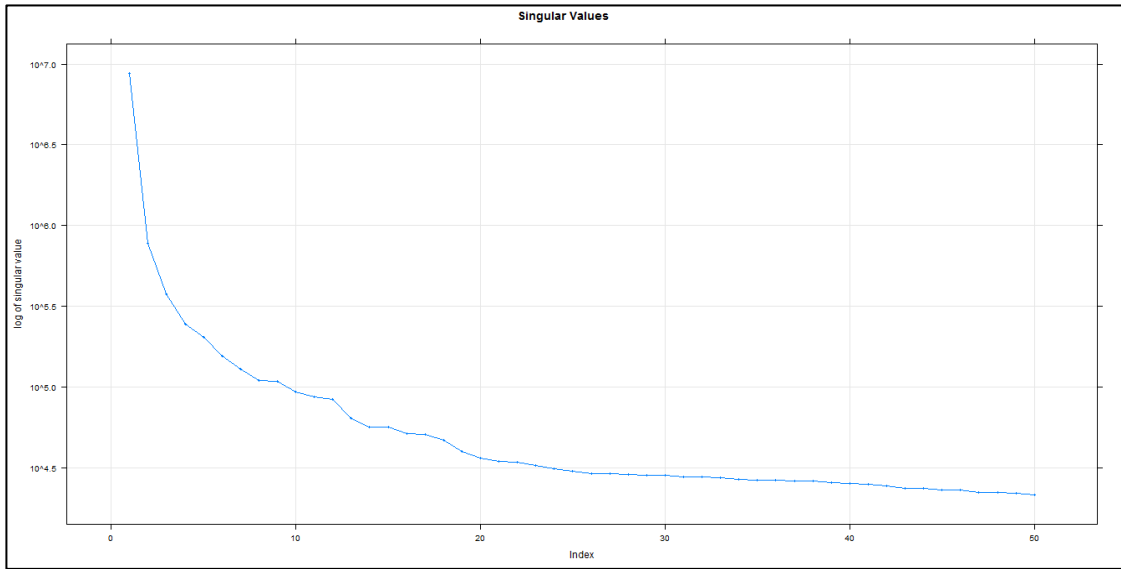
Series length: 1020,   window length: 52,   SVD method: eigen
Special triples: 0

Computed:
Eigenvalues: 50,      Eigenvectors: 50,      Factor vectors: 0

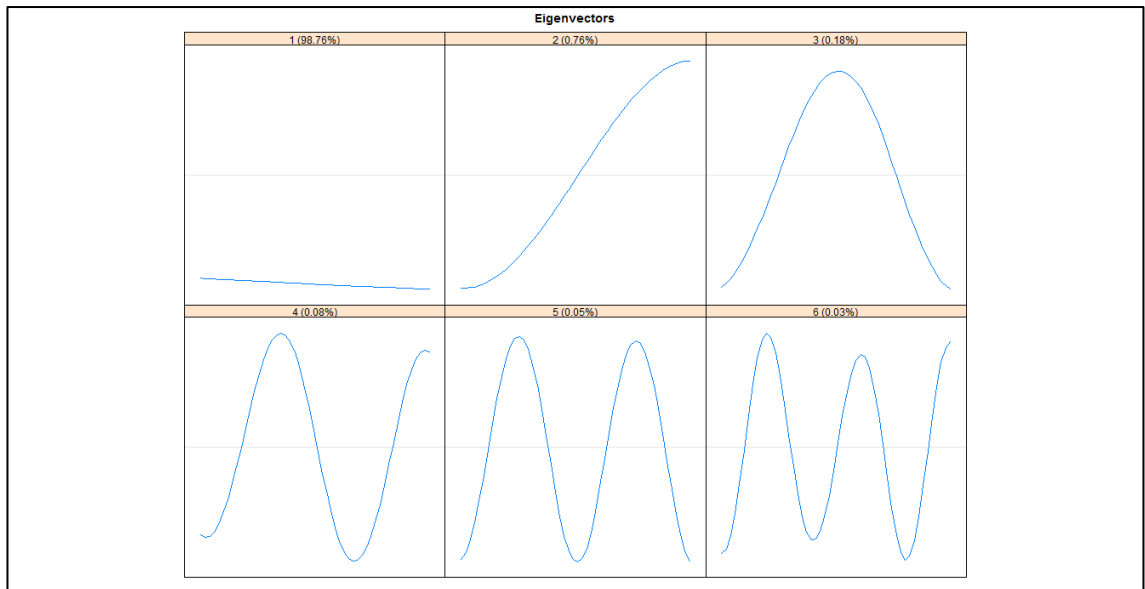
Precached: 0 elementary series (0 MiB)

Overall memory consumption (estimate): 0.02969 MiB

```

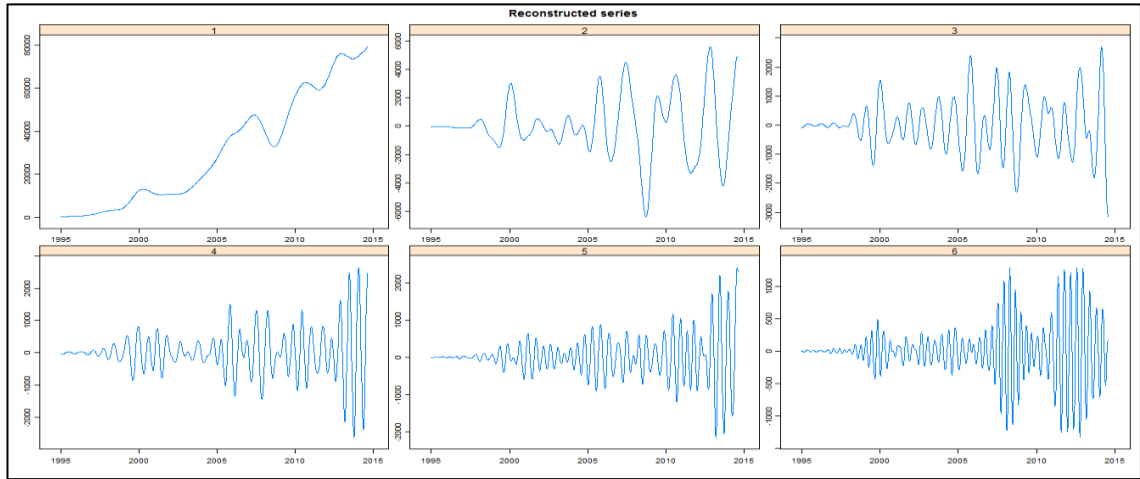


Şekil 3.12. SSA Birinci Aşama Özdeğerlerin Gösterimi



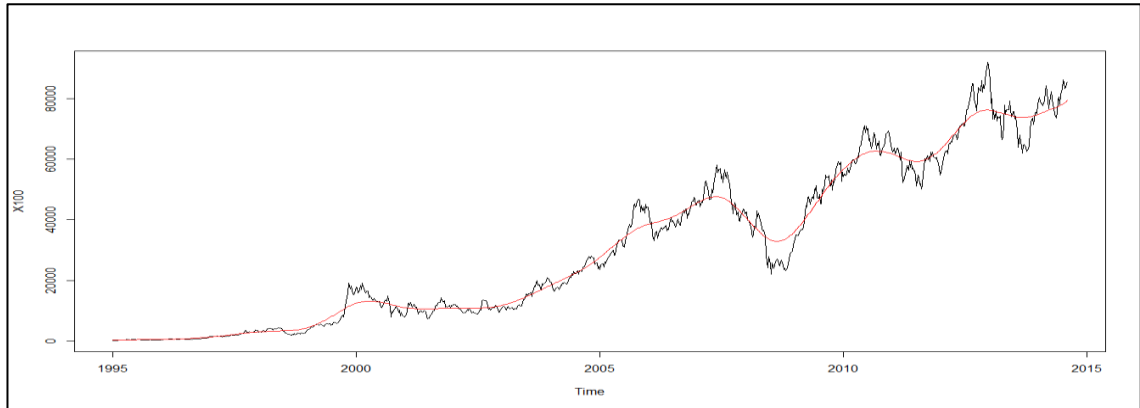
Şekil 3.13. SSA Birinci Aşama Özvektörlerin Gösterimi

Şekil 3.13 altı önemli özvektörü (*eigenvector*) göstermektedir. Bu başlıca önemli özvektörler hemen hemen sabit koordinatlara sahiptirler ve dolayısıyla da, Bartlett filtresinin saf düzleşirmesine karşılık gelirler. Bu altı özvektör tarafından yeniden oluşturulan sonuç ise, Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 ilk özüçlüler (*eigentriples*) trende karşılık geldiğini gösterirlerken, diğer özüçlüler yüksek frekanslı bileşenleri gösterirler ve trend ile bir bağlantıları yoktur.



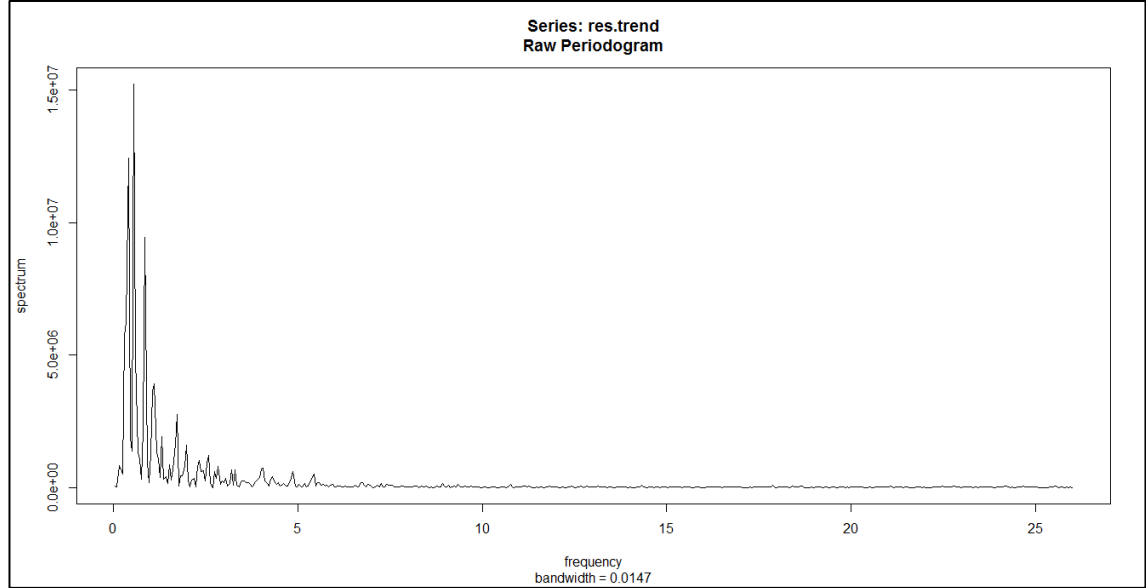
Şekil 3.14. Yeniden Oluşturulan Temel Serilerin Gösterimi

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’deki ilk grafikler serinin trend bileşenini göstermektedir. Diğer grafikler ise, serideki yüksek frekanslı bileşenleri ifade etmektedir. Bu bileşenler, konjonktür, mevsimsel ve rastgele bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 3.15 ise, X100 serisi ve SSA yöntemiyle ayrıştırılan trendi göstermektedir.



Şekil 3.15. X100 Serisi ve SSA Yöntemiyle Ayrıştırılan Trend

Seriden trend ayrıştırıldıktan sonra, bir sonraki süreç, seriden yüksek frekanslı bileşenlerin ayrıştırılmasıdır. Trend ayrıştırıldıktan sonra kalan verinin periyodogramını Şekil 3.16’da incelersek;



Şekil 3.16. X100 Serisindeki Yüksek Frekanslı Bileşenler

BİST Ulusal 100 Endeksi'nin 11 haftayla 140 hafta arasında değişen periyotlarda ve gittikçe azalan genlikte salınımlara sahip olduğunu görülebilir.

Daha hassas ve detaylı ayrıştırma için, pencere genişliğini, $L \leq N/2$ kuralı ve 52 ile bölünebilir bir sayı olan en geniş pencere değeri olan $L=468$ olarak alırsak, bu ikinci aşama nesnesinin özeti aşağıdaki şekilde verilebilir;

```
Call:
ssa(x = res.trend, L = 490, svd.method = "nutrlan")

Series length: 1020, window length: 490, SVD method: nutrlan
Special triples: 0

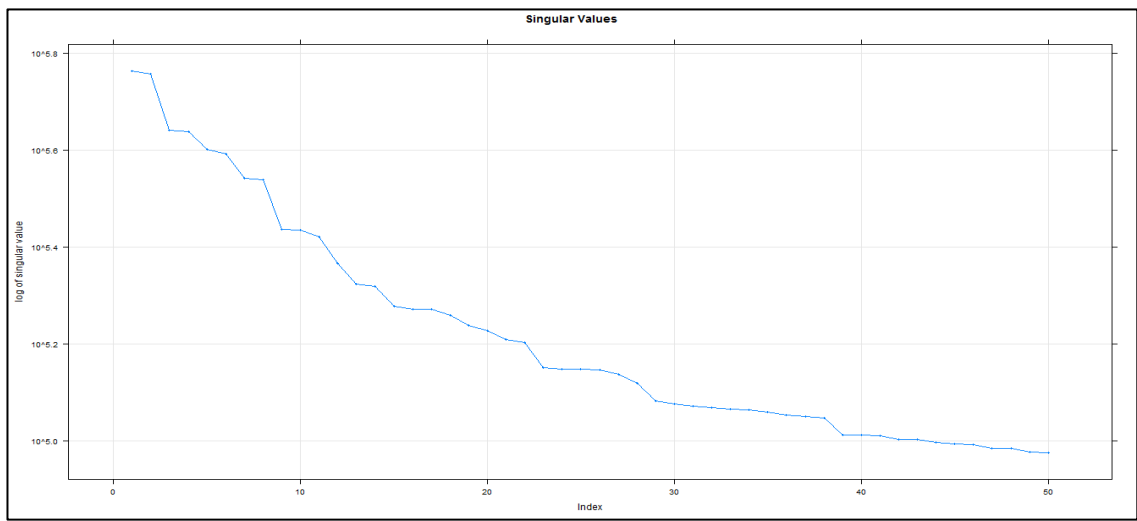
Computed:
Eigenvalues: 50,      Eigenvectors: 50,      Factor vectors: 0

Precached: 0 elementary series (0 MiB)

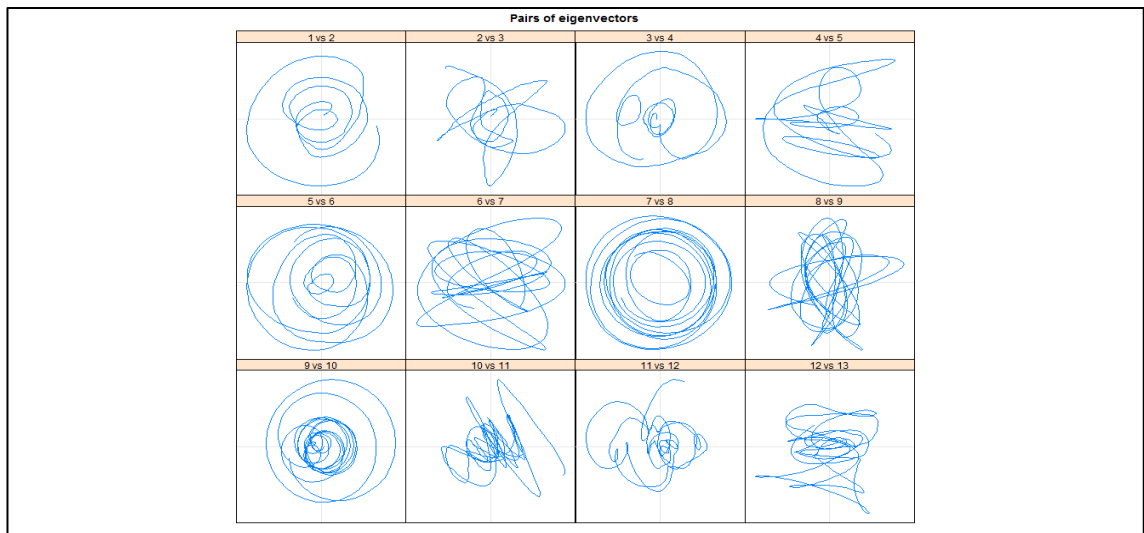
Overall memory consumption (estimate): 0.197 MiB
```

Burada, $N=1020$ ve $L=468$ olduğu için *nutrlan* yöntemi seçilmiştir.

Araştırılan sinüs dalgalarının daha iyi bir şekilde tanımlanabilmesi için, özvektörler grafiği, özvektörlerin dağılım grafiği ve temel bileşenlerin w-korelasyon matrisi kullanılacaktır. Şekil 3.17’de yaklaşık olarak eşit olan özvektörlerin oluşturduğu grafik gösterilmektedir. Her adım, bir sinüs dalgasına karşılık gelen bir özvektörler çiftiyle elde edilmiştir. Şekil 3.18 bu tahmini doğrulamaktadır, bu şekildeki özvektör grafiği 11 haftayla 140 hafta arasında değişen mevsimsel ve konjonktür dalgalanmaları göstermektedir ve bu değerler Şekil 3.16’daki periyodogram grafiğiyle uyumaktadır.

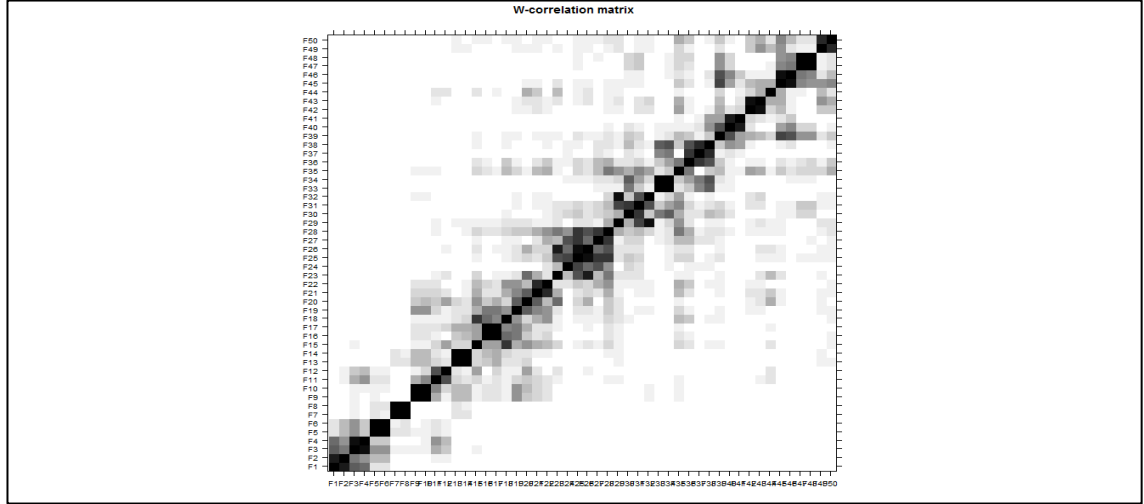


Şekil 3.17. SSA İkinci Aşama Özdeğerlerin Gösterimi



Şekil 3.18. SSA İkinci Aşama Özvektörlerin Gösterimi

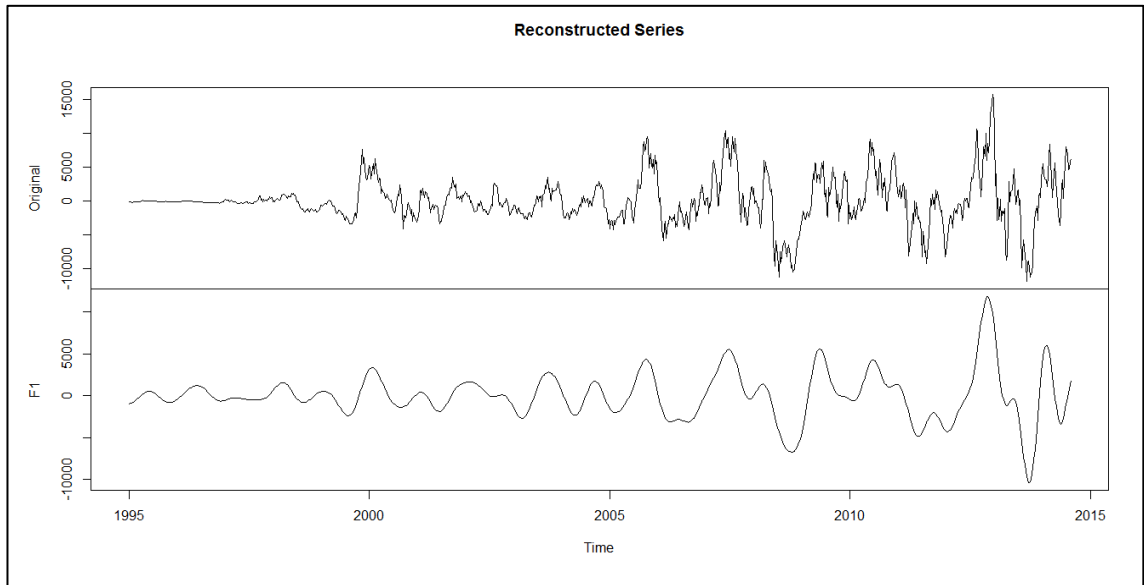
Şekil 3.19 ise, ele alınan bileşen çiftleri kendi aralarında oldukça yüksek korelasyona sahip olmakla beraber, çiftler arasında neredeyse hiçbir korelasyon yoktur.



Şekil 3.19. İlk 50 Değeri Kullanarak w-Korelasyonunun Gösterimi

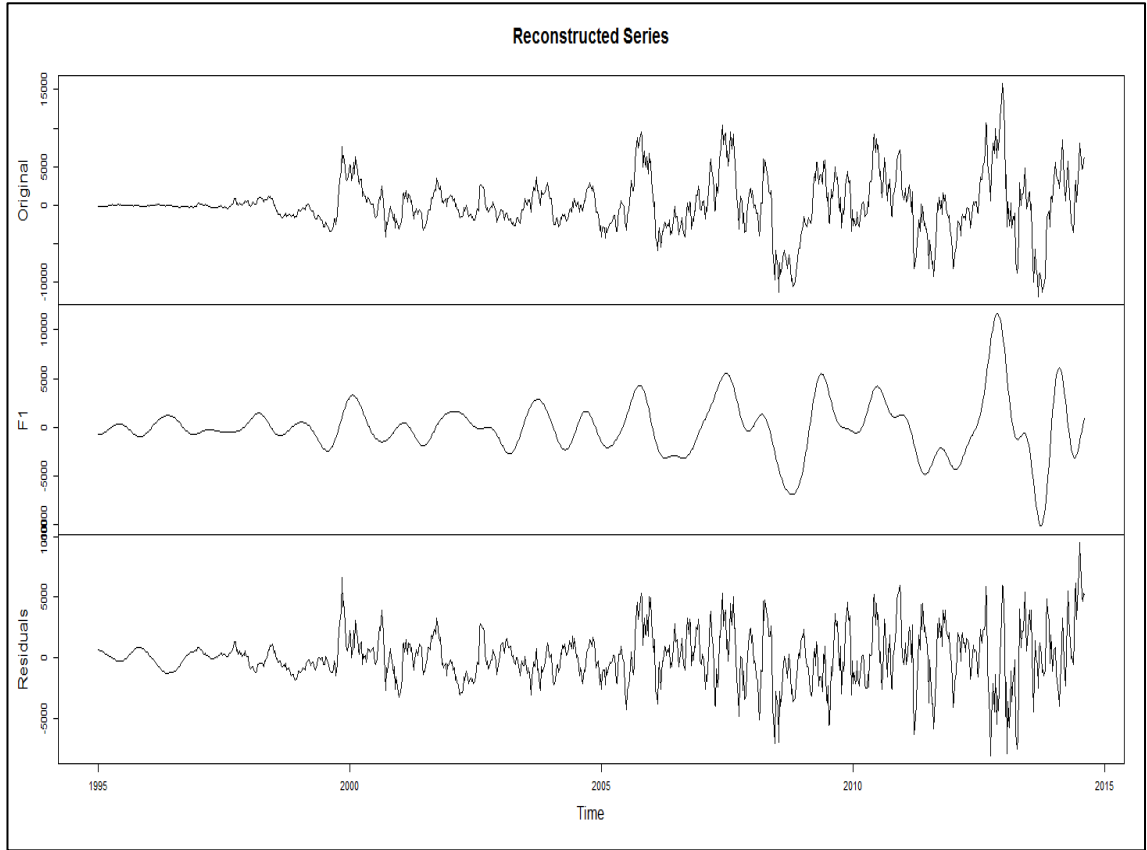
Periyotların tahmini *parestimate* fonksiyonu yardımıyla yapılabilir, aşağıda tahmin edilen periyotlar verilmiştir:

```
parestimate(x100S2, groups = list(1:12), method = "esprit-1s")$p
periods
[1] 31.90708 -31.90708 117.84807 -117.84807 93.81155 -93
.81155 156.49486 -156.49486 60.51143
[10] -60.51143 47.98035 -47.98035
```



Şekil 3.20. 2nci Aşamada Kullanılan Seri ve Ayrıştırılmış Mevsimsel Bileşen

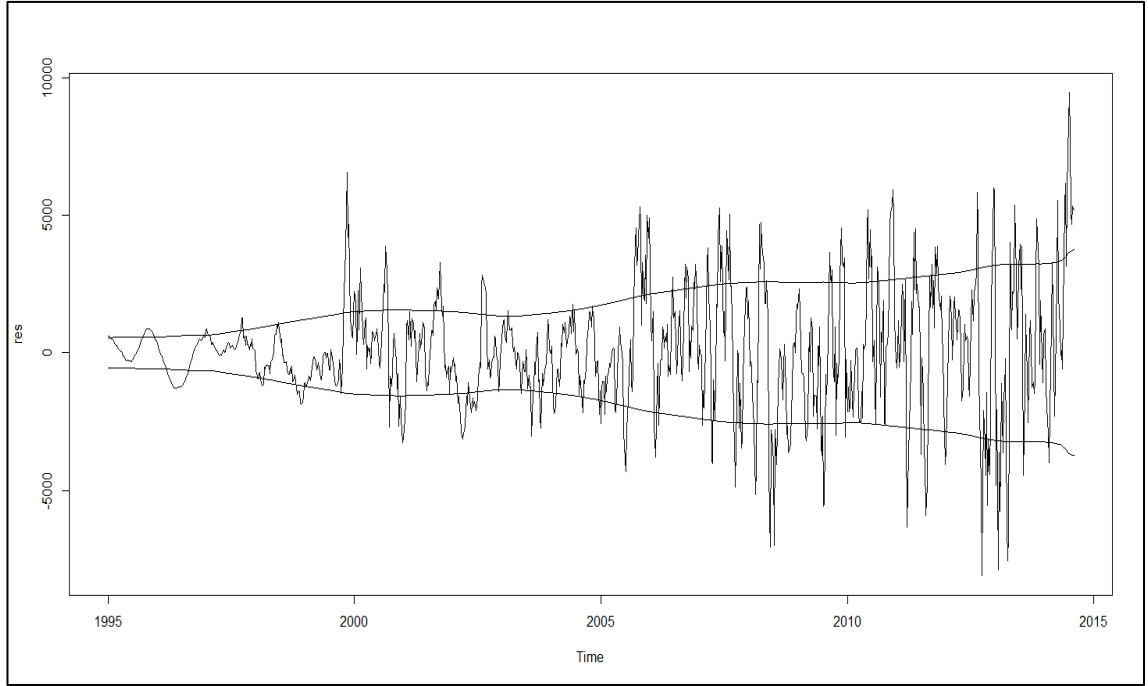
Şekil 3.20’de ayrıştırılmış mevsimsellik gösterilmektedir. Şekil 3.18’deki sinüs dalgalarının yavaş değişimi, karmaşık yapının döngüsel davranışını göstermektedir.



Şekil 3.21. BİST Ulusal 100 Endeksi Serisi ve Trend, Mevsimsel ve Artık Bileşenleri

Şekil 3.21’de ise, serinin trend, mevsimsel ve artık bileşenleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Artık değerlerin heterojen dağılımı özellikle dikkat çekmektedir.

Son olarak da, heterojen gürültünün varyansının tahmin edilebilmesi, iki ayrı gözlem yardımıyla yapılabilir. Birincisi, varyans, artıkların karelerinin beklentilerine eşittir. İkincisi ise, stokastik süreç için trend, varyansın beklentisidir. Böylece, varyans, artıkların karelerinin trendi olarak tahmin edilebilir. Bu trend, küçük pencere genişliğine sahip ve başlıca özdeşler tarafından yeniden oluşturulan SSA yöntemiyle çıkarılabilir. Pencere genişliğinin seçimi, çıkarılan trend ile görülen ayrıntı seviyesini belirler. $L=140$ seçimi uygun bir trendi sağlar. Şekil 3.22’deki gösterim standart sapma sınırları belirlenen artıkları göstermektedir.



Şekil 3.22. BİST Ulusal 100 Endeksi Artık Değerleri ve Sınır Değerleri

3.3.5.2. Diğer Modern Spektral Analiz Yöntemleri

Diğer modern spektral analiz teknikleri arasında en çok kullanılanlar, dalgacık analizi ve Monte Carlo SSA'dir. Ancak, bu analizlerin açıklanması ve BİST Ulusal 100 Endeksi verilerinin bu yöntemlerle analizi, çalışmaya ayrılan zamanın sınırlı olması ve gerekli yazılımların tedarik edilememesi nedeniyle yapılmamıştır.

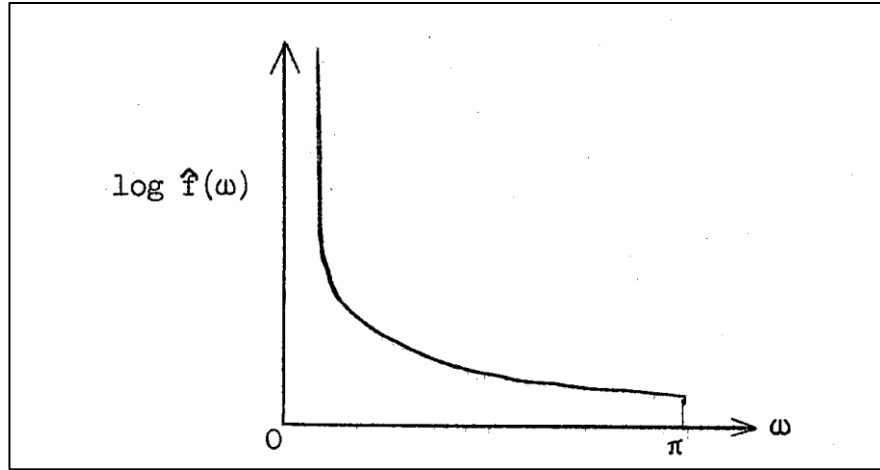
Ayrıca, modern spektral analiz teknikleri hâlihazırda gelişme aşamasında olup, istatistik yazılımları kesin sonuçlar vermeyebilmektedirler. Tekil spektral analiz çalışmasında, verilerin eşit aralıklı olması gerekliliği, günlük verilerin bu yöntemle analizini kısıtlamaktadır. Ancak, bilgi teknolojiler hergün ilerlemekte ve ihtiyaç duyulan yazılımlar araştırmacıların kullanımına sunulmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmayla başlatılan spektral analiz araştırmaları, diğer araştırmacılara yol gösterebilir ve daha etkin çalışmalar yapılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

BİST Ulusal 100 endeksinin, spektral analiz yöntemiyle incelenmesi, özellikle son 20 yıllık verilerin salınım özelliği göstermeleri nedeniyle beklenenden daha iyi sonuçlanmıştır. Çalışma 1986 yılında kurulan borsanın, 1995 yılından itibaren 2015 yılına kadar olan aralığındaki verileri, borsadaki salınımlarla ilgili bilgiler vermiştir.

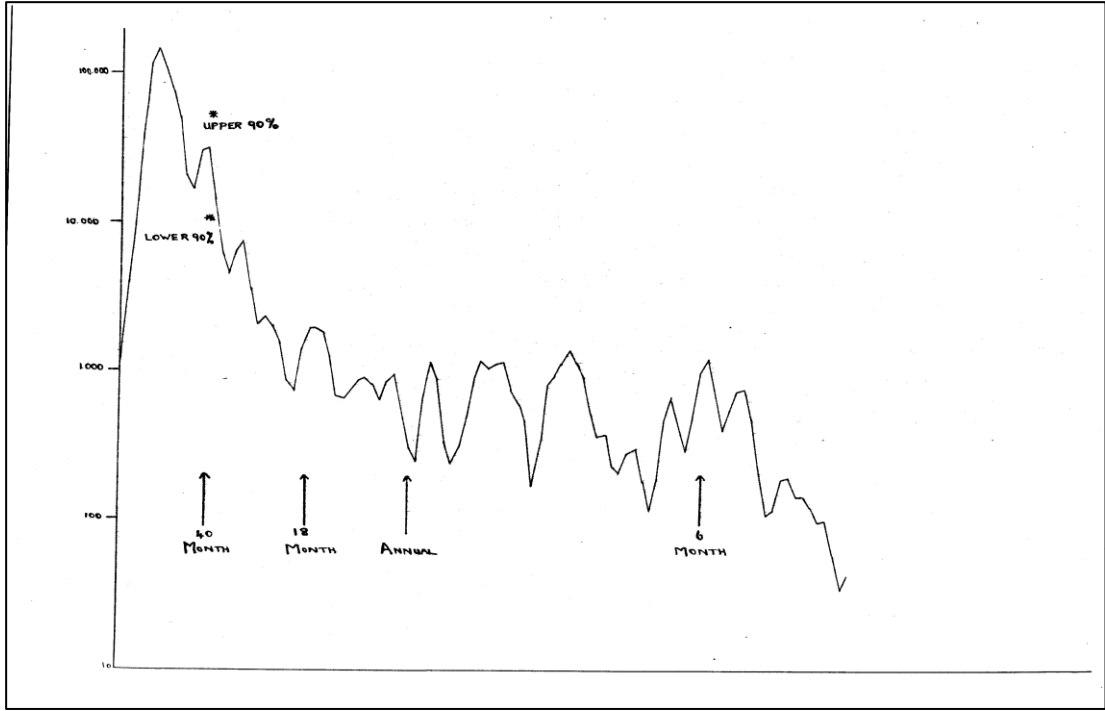
Granger ve Morgenstern, New York Hisse Senetleri piyasasını spektral analiz ile inceledikleri çalışmada gösterdikleri ekonomik serilere ait temel spektral şekil, aşağıda Şekil 3.23’de verilmiştir. Bu şekil, BİST Ulusal 100 Endeksi’nin, Şekil 3.10’da verilen, ham verilerin spektral analizi grafiğiyle benzer karakteristiklere sahiptir. Hem Şekil 3.10’da, hem de Şekil 3.23’de frekans sıfıra yaklaştıkça, spektrum sonsuza yaklaşmaktadır. Bu da serilerdeki trendin oluşturduğu bir durumdur.

Granger ve Morgenstern bu çalışmada ayrıca, Standard & Poor Endeksi’nin Ekim 1875 – Mart 1958 tarihleri aralığındaki ve Dow-Jones endekslerinin 1915-1961 aralığındaki trendi ayrıştırılmış aylık değerlerini kullanarak spektrumunu incelemiştir³⁰⁸. Şekil 3.24’de görüldüğü gibi, Standar&Poor Endeksi’nin yaklaşık 83 yıllık verisi, borsa ve ekonomiyle ilgili yeterli uzunlukta olup, ABD ekonomisinin 40 aylık konjunktür dalgalanması açıkça belirlenmiştir.



Şekil 3.23 Granger ve Morgenstern Tarafından Tanımlanan Ekonomik Serilere Ait Genel Spektral Şekil

³⁰⁸ GRANGER, Clive W. J., MORGENSTERN, Oscar, “Spectral Analysis of New York Stock Market Prices”, Princeton University, Econometric Research Program, Research Memorandum No 45, Eylül 1962.



Şekil 3.24. Granger ve Morgenstern Tarafından İncelenen S&P Verileri

Şekil 3.11’de incelenen birinci farkları alınarak düzleştirilmiş Ulusal 100 verisinin spektrumu ile Şekil 3.24’de verilen 36 ve 86 uzunluğunda hareketli ortalama (*moving average*) ile trendi ayrıştırılmış veri, yatay eksenin sol tarafında bulunan uzun periyoda sahip (düşük frekanslı) spektrum değerleri dışında benzerlik göstermektedir. Şekil 3.24’te verilen beş yıllık ve 40 aylık döngüleri spektral analiz tekniğiyle sağlıklı olarak hesaplayabilmek için, verinin en az 25 yıllık; beş yıllık döngüyü hesaplayabilmek için ise, 35 yıllık olması; ayrıca ekonomik sistemin tüm fonksiyonlarının harici ve dâhili şoklardan, ayrıca manipülasyonlardan en az biçimde etkilenebilecek derinliğe sahip olması gereklidir. Ancak, Ulusal 100 endeksinin bu yeterliliğe henüz ulaşamaması nedeniyle, beş yıllık ve 40 aylık döngüleri tespit edebilmek mümkün değildir. Bunun dışında, bir yılın altındaki döngülerde benzerlikler bulunmaktadır.

Frekans düzleminde spektral analiz yapabilmek için, incelenecek zaman serisinin uzun süreli bir seri olmasında yarar vardır. Kısa zaman serileri için zaman düzleminde, zaman serisi analizi daha iyi sonuçlar verecektir. Bu alandaki pek çok çalışmanın 50 yıldan daha fazla veri ile yapıldığını göz önüne alırsak, incelenen BİST Ulusal 100 serisinin 30 yıllık olması nedeniyle, periyodik fonksiyonlar tam olarak

belirlenememiştir. Ancak, bu çalışmanın bu alandaki ilk çalışma olması nedeniyle, İstanbul Borsası'nın spektral analiz yöntemiyle daha ileriki yıllarda yapılabilecek olan çalışmalarına temel teşkil edebilmesi açısından önemlidir.

Borsa İstanbul'da görülen bazı dalgalanmaların aslında rastgele dalgalanmalar değil, belli periyotları olan olaylardan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu olaylar frekans ortamında incelendiğinden, BİST 100 endeksinin haftalık kapanış verilerinin ne tür bir karakteristiğinin olduğu ve hangi sıklıklarla ve hangi büyüklüklerde azalıp yükseldiği görülmüştür. BİST 100 endeksinde 15 gün, 20 gün, 36 gün, 45 gün ve 60 gün süreli rassal; 4,5 ay ve 1 yıl süreli mevsimsel ve 2 yıllık konjonktür dalgalanmalar bulunmuştur. Bu dalgalanmalar farklı genliktedir. Yatırımcılar, satın alma veya satma kararı verirken, BİST 100 endeksindeki dalgalanmaların periyotlarını ve genliklerini takip ederek daha verimli kararlar alabilirler. Çünkü, endeks, bu çalışmada elde edilen periyotlarda salınım gösterdiğinden, yatırımcılar endeksin bu çalışmada tespit edilen zaman aralıklarında (periyotlarda) tekrar yükseleceğini veya düşeceğini öngörerek hareket edebilirler.

Bu çalışmanın başlangıcında plânlanmasına rağmen, yeterli teknik imkân ve zamanın olmaması nedeniyle, günlük verilerin analizi yapılamamıştır. Yine, BİST Ulusal 100 endeksiyle, işlem hacmi, makroekonomik faktörler ve diğer değişkenlerle olan döngüsel ilişkileri inceleyen çapraz spektral analiz (*cross spectral analysis*) de bu çalışmanın sınırlarını aşacağı için yapılmamıştır. Hem günlük verilerin spektral analizi, hem de çapraz spektral analiz başka bir çalışmada yapılabilir. Bu çalışmada sadece, tek değişkenli spektral analiz incelenmiş ve mümkün olduğunca detaylı olarak anlatılmıştır.

Ayrıca, günümüzde bilgi teknolojileri hızla ilerlemektedir. Verileri algılamak için her gün yeni cihazlar üretilmekte, depolama kapasiteleri hızla artmakta, işlemci güçleri gelişmektedir. Bu gelişmeler, verilere gerçek zamanlı olarak ulaşmayı ve onları gecikmesiz olarak analiz etmeyi kolaylaştırmaktadır. Diğer taraftan ise, olaylar gittikçe daha karmaşık hale gelmekte ve klâsik yöntemlerle analizi her geçen gün zorlaşmaktadır. Dolayısıyla, spektral analiz burada daha sağlıklı sonuçlar sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak, spektral analiz konusu için, üniversiteler ve enstitülerde çalışma grupları oluşturulmalıdır. Ülkemizde oldukça ihmâl edilen bu konu geliştirilmelidir. Spektral analiz, pek çok bilim dalında kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, istatistik

bilimindeki uygulaması çok yenidir. Ülkemizdeki, neredeyse hiçbir üniversitenin istatistik ders programları arasında bu ders yoktur. Bu amaç doğrultusunda, R programı ve çeşitli makine öğrenimi algoritmaları (*machine learning algorithms*) kullanılarak, çalışmamızda belirtilen teorik ve ampirik açıklamalar ışığında anlık verilerle uygulama yapılmalı, veriler gerçek zamanlı olarak işlenmeli, analiz ve tahmin edilmelidir. Bu tür bir çalışma, ayrı bir doktora tezi olarak da değerlendirilebilir; istatistik, matematik ve bilgi teknolojileri gibi diğer disiplinlerin de katılımıyla faydalı bir araştırma yapılabilir. Bu çalışmalardan elde edilecek uygulamalar ve çıkarılacak sonuçlar, işletmelerin, kurumların ve kamunun karar verme süreçlerine katılabilir.

Spektral analiz konusunun ülkemizde geliştirilmesi özel bir öneme sahiptir. Bu amaçla, üniversitelerin ekonometri bölümlerinde, spektral analiz dersi müfredata alınmalıdır. Spektral analiz dersinin teknik temellerinin iyi kurulması ve matematik bilimine dayanan teorisinin öğrencilere iyi anlatılabilmesi için, hem elektronik, jeoloji gibi hâlihazırda spektral analiz konusunu anlatan diğer disiplinlerden öğretmen ve bilgi desteği alınmalı, hem de matematik disiplininden spektral analizin teorisi için destek sağlanmalıdır. Ayrıca, istatistik biliminin içine aldığı, tanımlama, yorumlama ve tahmin yöntemlerinin de doğru kurulması için istatistik disipliniyle de işbirliği yapılmalıdır. Bir diğer konu da, elde edilen verilerin işlenmesidir. Spektral analiz, bilişim teknolojilerine dayalı bir yöntem olduğu için, üniversitelerin bilgisayar bölümlerinin de teknik desteği alınmalıdır. En önemli konulardan birisi de, kullanılacak olan yazılımdır. Bu çalışmada kullanılan R yazılımı, bugün spektral analiz konusunda en kolay uygulama yapılabilecek bir yazılım olduğu ve dünyanın değişik yerlerindeki uzman kişiler tarafından yazılıp paylaşıldığı için, özellikle bu yazılıma önem verilmelidir. Türkiye'deki R grupları hem üniversiteler tarafından desteklenmeli, hem de üniversitelerin bilgisayar ve yazılım ile ilgili bölümlerinde bu programın öğretilmesi teşvik edilmeli, ayrıca Türkiye şartlarına uygun R kodları ve paketleri geliştirilmelidir.

Ekonomik olaylarda spektral analiz tekniğini iyi bilen öğretim görevlileri Türkiye'ye davet edilerek, bu konuda çalışmış yerli ve yetkin öğrenci ve akademisyenlerle bağlantı kurmaları ve bilgi alışverişi yapmaları sağlanmalıdır. Bu konuda, özellikle önemli ve güncel çalışmalar yapmış Hintli öğretim görevlileri faydalı olabilir. Ayrıca, hem spektral analiz hem de R programı ile ilgili kaynak kitaplar

Türkiye'ye ve üniversitelere getirilmeli ve en hızlı şekilde Türkçe'ye çevrilerek literatüre kazandırılmalıdır.

Sonuç olarak, spektral analiz tekniğiyle, Türkiye Ekonomisi'ndeki ve ekonominin temel yapı taşlarından biri olan Borsa İstanbul'daki hareketleri farklı bir açıdan incelenebilecek ve yüzyılımızın yeni ekonomik dinamikleri en iyi şekilde sentezlenebilecektir. Bunun etkin bir şekilde başarılabilmesi için, hem eğitim, hem de bilgi altyapısı kuruluşundan itibaren sağlam bir temel üzerine oturtulmalı ve analiz tekniği ülkemizin ekonomik, sosyal, kültürel ve siyasi yapısına göre uyarlanmalıdır.

KAYNAKÇA

A. Kitaplar

- AKSULU, İ. (1993) *Tüketicinin Sosyo-Ekonomik ve Demografik Özellikleri ve Marka Seçimi Davranışları Üzerindeki Etkileri*. İlkem Ofset: İzmir.
- ALLEN, R. G. (1964) *Statistics for Economists*. Mc-Millan: Londra.
- ARSLAN, M. (2004) *Banka Etkinliklerinin Stokastik Dea Yöntemiyle Analizi ve Türk Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama*. Gazi Kitapevi: Ankara.
- BİLDİK, R. (2000) *Hisse Senedi Piyasalarında Dönemsellikler ve İMKB Üzerine Ampirik Bir Çalışma*. İMKB Yayınları: İstanbul.
- BLACKMAN, R. B. & TUKEY, J. W. (1958) *The Measurement of Power Spectra from the Point of View of Communication Engineering*, Dover Publications: New York
- BLOOMFIELD, P. (1976) *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. Wiley: New York.
- BOLAK, M. (2001) *Sermaye Piyasası Menkul Kıymetler ve Portföy Analizi* (4ncü baskı). Beta Yayıncılık: İstanbul.
- BOX, G. E., & JENKINS, G. M. (1970) *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, Inc.: San Fransisco.
- BOZKURT, H. (2007) *Zaman Serileri Analizleri*. Ekin Yayınları: Bursa.
- BRILLINGER, D. R. (2001) Time Series: General. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (Cilt 23, s. 15724–15731). Elsevier Ltd.: Berkeley.
- ÇAKICI, L. (1992) *"Ekonomik Gelişme İçin Sermaye Piyasası ve Bankalardan Beklenen Fonksiyonlar"*, *Türkiye Ekonomisi Nereye Gidiyor?* (Genişletilmiş 3ncü baskı). Ankara Üniversitesi Basımevi: Ankara.
- ÇETİNER, E. (2005) *İşletmelerde Mali Analiz* (4ncü baskı). Gazi Kitapevi: Ankara.
- CEYLAN, A., & KORKMAZ, T. (2004) *Sermaye Piyasası ve Menkul Değer Analizi* (2nci baskı). Ekin Kitapevi: Bursa.
- CHAREMZA, W. W., & DEADMAN, D. F. (1997) *New Directions in Econometric Practice*. Edward Elgar Publishing Ltd.: Cheltenham.
- CHATFIELD, C. (1989) *The Analysis of Time Series: An Introduction* (4ncü baskı). Chapman and Hall: New York.
- CİVAN, M. (2007) *Sermaye Piyasası Analizleri ve Portföy Yönetimi*. Gazi Kitapevi: Ankara.
- COURNOT, A. (1897) *Researches into the Mathematical Principle of the Theory of Wealth*. Macmillan: New York.

- DALY, K. J. (1999) *Financial Volatility and Real Economic Activity*. Aldershot: Ashgate.
- DIEBOLD, F. X. (2007) *Elements of Forecasting* (4ncü baskı). South-Western College Publishing: Cincinnati.
- DOLAN, E. G., & LINDSEY, D. E. (1991) *Economics*. The Dryden Press: Oak Brook.
- ENDERS, W. (1995) *Applied Econometric Time Series*. John Wiley & Sons Inc.: New York.
- EROĞLU, H. (1981) *Atatürk ve Devletçilik*. Olgaç Matbaası: Ankara.
- ERTEK, T. (1996) *Ekonometriye Giriş* (2nci baskı). BETA Basım Yayım Dağıtım A.Ş.: İstanbul.
- ERTUNA, İ. Ö. (1987) *Yöneticiler için Finans (Bilgisayar Uygulama Örnekleriyle)*. B/F/S Yayınlar: İstanbul.
- FAMA, E.F. (1976) *Foundations of Finance*. Basic Books: New York.
- FRANSES, P. H. (1998) *Time Series Models for Business and Economic Forecasting*. Cambridge University Press: Cambridge.
- FULLER, W. A. (1976) *Introduction to Statistical Time Series*. John Wiley & Sons: New York.
- GORDON, R. A. (1961) *Business Fluctuations* (2nci baskı). Harper & Row: New York.
- GOTTMAN, J. M. (1981) *Time Series Analysis: A Comprehensive Introduction for Social Sciences*. Cambridge University Press: Cambridge.
- GRAHAM, B., & DODD, D. L. (1934) *Security Analysis: Principles and Technique*. McGraw-Hill Book Company: New York.
- GRANGER, C. W. & HATANAKA, M. (1964) *Spectral Analysis of Economic Time Series*. Princeton University Press: Princeton.
- GRANGER, C. W. & MORGENSTERN, O. (1970) *Predictability of Stock Market Prices*. Health Lexington Books: Massachusetts.
- GRANGER, C. W., & NEWBOLD, P. (1977) *Forecasting Economic Time Series*. Academic Press: New York.
- GRANGER, C. W., & WATSON, M. W. (1984) *Time Series and Spectral Methods in Econometrics-Handbok of Econometrics* (Cilt II). Elsevier Science Publisher BV.: Amsterdam.
- GREENE, W. H. (1997) *Econometric Analysis* (3ncü baskı). Prentice Hall Inc.: Upper Saddle River.
- GRENANDER, U., & ROSENBLATT, M. (1957) *Statistical Analysis of Stationary Time Series*. John Wiley & Sons, Inc.: New York.

- GRENANDER, U. (1959) *Some Nonlinear Problems in Probability Theory*. Probability and Statistics-the Harald Cramér cildi, John Wiley and Sons: New York.
- GUJARATİ, D. N. (2001) *Temel Ekonometri*. Literatür Yayıncılık: İstanbul.
- GÜNEŞ, H., & SALTOĞLU, B. (1998) *İMKB Getiri Volatilitésinin Makroekonomik Konjonktür Bağlamında İrdelenmesi*. İMKB Yayınları: İstanbul.
- HACIHASANOĞLU, E. (2003) *Menkul Kıymet Piyasalarında Volatilitenin Modellenmesi. İMKB için bir Deneme*. Sermaye Piyasası Kurulu Sayı 139: Ankara.
- HAMBURG, M. (1970) *Statistical Analysis for Decision Making*. Harcourt-Brace: New York.
- HAMILTON, J. D. (1994) *Time Series Analysis*. Princeton University Press: Princeton.
- HANNAN, E. J. (1960) *Time Series Analysis*. Methuen: Londra.
- HANNAN, E. J. (1970) *Multiple Time Series*. Wiley: New York.
- İMKB. (2003) *Piyasa Kavramları, Çeşitleri, Özellikleri*. İMKB Yayınları: İstanbul.
- İMKB. (2010) *Verilerle İMKB - İstanbul Stock Exchange by Figures*. İMKB. İMKB Yayınları: İstanbul.
- JENKINS, G. M., & WATTS, D. G. (1969) *Spectral Analysis and Its Applications* (2nci baskı). Holden-Day: San Fransisco.
- JEVONS, W. S. (1884) *Investigation in Currency and Finance*. Macmillan: Londra.
- KANALICI, H. (1997) *Hisse Senedi Fiyatlarının Tespiti ve Tesir Eden Faktörler*. Sermaye Piyasası Kurulu, Sayı 77: Ankara.
- KARAN, M. B. (2004) *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi* (Birinci baskı). Gazi Kitapevi: Ankara.
- KARSLI, M. (1994) *Sermaye Piyasası, Borsa, Menkul Kıymetler*. İrfan Yayıncılık: İstanbul.
- KENDALL, M. G., & STUART, A. (1968) *The Advanced Theory of Statistics*. Griffin: Londra.
- KONURALP, G. (2005) *Sermaye Piyasaları Analizler, Kuramlar ve Portföy Yönetimi* (2nci b.). Alfa Yayıncılık: İstanbul.
- KOOPMANS, L. H. (1995) *The Spectral Analysis of Time Series*”, Academic Press, Inc.: Albuquerque
- KUTLAR, A. (2000) *Ekonometrik Zaman Serileri-Teori ve Uygulama*. Gazi Kitapevi: Ankara.

- LABYS, W.C. & GRANGER, C. W. J. (1970). *Speculation, Hedging, and Commodity Price for Forecasts*. Heat Lexington Book: Lexington, Mass.
- MADDALA, G. S., & KIM, I. (2002) *Unit Roots, Cointegration and Structural Changes*. Cambridge University Press: Cambridge.
- MAKRİDAKİS, S. G., WHEELWRIGHT, S. C., & Hyndman, R. J. (1998) *Forecasting Methods and Applications-Third Edition* (3ncü baskı). John Wiley & Sons, Inc.: New York.
- MARKOWITZ, H. M. (1959) *Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investment*. John Wiley and Sons, Inc.: New York.
- MEDIO, A. (1992) *Chaotic Dynamics - Theory and Applications to Economics* ss. 250-275. Cambridge University Press: Cambridge.
- MENTEŞ, A. E. (1975) *Sermaye Piyasası Tekniği*”, (1nci baskı). Doğu Matbaacılık: Ankara:
- MILL, J. S. (1871) *Principles of Political Economy* (Cilt 4), John William Parker: Londra.
- MILLS, T. C. (1991) *Time Series Techniques for Economics*. Cambridge University Press: Cambridge.
- NERLOVE, M., GREYER, D. M., & CARVALHO, J. L. (1995) *Analysis of Economic Time Series. A Synthesis* (gözden geçirilmiş baskı). Academic Press: San Diego.
- NEWBOLD, P. (2000) *İşletme ve İktisat için İstatistik*. (Çev. Ü. Şenesen) Literatür Yayıncılık: İstanbul.
- ÖZBAY, R. (1997) *Hisse Senedi Fiyatlarında Yükseliş ve Çöküşler: Borsalarda Spekülasyon ve Manipülasyon*, Doç. Dr. Yaman Aşıkoğluna Armağan, SPK, Yayın No 56: Ankara.
- ÖZÇAM, M. (1997) *An Analysis of Macroeconomic Factors That Determine Stock Returns in Turkey*, Sermaye Piyasası Kurulu: Ankara.
- ŞAHİN, H. (1997) *İktisada Giriş*. Ezgi Kitabevi Yayınları: Bursa.
- ŞEKER, Ü. S. (1997) *Araçları, Kurumlar ve İşleyişi ile Sermaye Piyasası*. Anadolu Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Yayınları No:19: Eskişehir.
- SNOWDON, B., & VANE, H. (1997) *Reflections on the Development of Modern Macroeconomics*. Edward Elgar Publishing Ltd.: Cheltenham.
- SÖNMEZ, C. & BERİK, A. (1996) *Hisse Senedi Getirileri İle Tahmini Enflasyon Arasındaki İlişki*, Doç. Dr. Yaman Aşıkoğlu'na Armağan. Sermaye Piyasası Kurulu Yayını, No 56: Ankara.
- SPK. (1981, 7 28) Sermaye Piyasası Kanunu No:2499. 20(17416), 5. T.C. Başbakanlık: Ankara.

- SPK. (1994) *Sermaye Piyasası Mevzuatı. (1), 3.* Sermaye Piyasası Kurulu: Ankara.
- STOICA, P., & MOSES, R. (1997) *Introduction to Spectral Analysis.* Prentice Hall: Upper Saddle River.
- TARI, R. (2002) *Ekonometri.* Alfa Basım Yayım: İstanbul.
- TERZİ, H., & Hilmi, Z. (2003) *Temel Ekonometri Teori ve Uygulama.* Derya Yayınevi: Trabzon.
- TINTNER, G. Time Series: General. *Science Dictionary* (Cilt 2, s. 51).
- TURANLI, M. (1988) *Pazarlama Yönetiminde Karar Alma* (2nci baskı). Beta Basım A.Ş.: İstanbul.
- ÜNAY, C. (1984) *Makro Ekonomik* (4ncü baskı). Akademi Kitapevi Yayınları: Bursa.
- UYGUR, E. (2001) *Ekonometri: Yöntem ve Uygulama.* İmaj Yayıncılık: Ankara.
- VENABLES, W. N., & RIPLEY, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S* (4ncü baskı). Springer: New York.
- VURAN, A. (1981) *İstatistik III.* İ.İ.T.İ.A. İşletme Fakültesi, İstatistik ve Kanitatif Araştırmalar Enstitüsü Yayını, No 82/2, Met-Er Matbaası: İstanbul
- WARNER, R. M. (1988) *Spectral Analysis of Time-Series Data.* The Guilford Press: New York.
- WOLD, H. O. (1965) *Bibliography on Time Series and Stochastic Processes.* MIT Press: Cambridge.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2002) *Introductory Econometrics A Modern Approach* (2nci baskı). Thomson Learning: Mason
- YILDIZ, N., & BİRCAN, H. (2006) *Uygulamalı İstatistik.* Nobel Yayın Dağıtım: Ankara.
- YILMAZ, E. (2003) *Hukuk Sözlüğü.* Ankara.
- YÖRÜK, N. (2000) *Finansal Varlık Fiyatlama Modelleri ve Arbitraj Fiyatlama Modelinin İMKB'de Test Edilmesi.* İMKB Yayınları: İstanbul.

B. Derleme Kitap

- ARTHUR, W. B., HOLLAND, J., LEBARON, B., & PALMER, R. (1997) *The Economy As An Evolving System II.* Derl: W. B. ARTHUR, S. N. DURLAUF, & D. LANE, (Addison-Wesley: Reading).
- BASILEVSKY, A., & HUM, D. P. (1977) "Spectral Analysis of Demographic Time Series: A Comparison of Two Spectral Models and Manitoba Basic Annual Income Experiment", *Recent Developments in Statistics*, Derl: J. R. BARRA, F. BRODEAU, G. ROMIER, & B. VAN CUSTEM, (North-Holland Publishing Co.: Amsterdam), ss.332.

- DIEBOLT, C., & DOLIGER, C. (2006) "Economic Cycles under Test: A Spectral Analysis", *Kondratieff Waves, Warfare and World Security, NATO Security through Science Series E*, Derl: T. C. DEVEZAS, (IOS Press: Amsterdam), Cilt 5, ss.39-47.
- GERSHENFELD, N., & WEIGENG, A. S. (1993) "The Future of Time Series", *Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past*, Derl: A. S. Weigend, & N. A. Greshengeld, (Addison-Wesley: Reading), ss.1-70.
- PARK, J. (1992) "Envelope Estimation for Quasi-periodic Geophysical Signals in Noise: A Multitaper Approach", *Statistics in the Environmental and Earth Sciences*, Derl: A. T. Walden, & P. Guttorp, (Edward Arnold: Londra), ss.189-219.
- PERCIVAL, D. B. (1994) "Spectral Analysis of Univariate and Bivariate Time Series", *Statistical Methods for Physical Science, Cilt 28 - Methods of Experimental Physics*, Derl: S. B. John L. Stanford, (Academic Press Inc.: San Diego), ss.313-348.
- PERCIVAL, D. B., & GUTTORP, P. (1994) "Long-memory Processes, the Allan Variance and Wavelets", *Wavelets in Geophysics*, Derl: E. E. Foufoula-Georgiou, & P. Kumar, (Academic Press: New York), ss.325-357.

C. Makaleler

- AĞAOĞLU, A. (2014, Haziran). Atlantik soğuyor, Pasifik ısınıyor! Peki, Türkiye ne yapmalı? *Fortune Türkiye*, s.82.
- AKAL, M., BİRGİLİ, E., & DURMUŞKAYA, S. (2012). İMKB30, İMKB100, Dolar, Avro, Future Piyasalarının Etkinliği Testi. *Business Economic Research Journal*, c. 3, s. 4, ss.1-20.
- AKDOĞAN, H. (1992). Türkiye Sermaye Piyasalarının Avrupa Topluluğu Sermaye Piyasalarına Entegrasyonu. *İşletme ve Finans*, ss.46-49.
- AKSOY, M. (2014, Ocak). The Geography of Borsa Istanbul Stock Returns. *Muhasebe ve Finansman Dergisi* , ss.102-121.
- AKTAŞ, Z. (2014, Haziran).Manipülatörler, şirketler, beklentiler.*Fortune Türkiye*, s.66.
- ALLEN, M. R., & SMITH, L. A. (1996). Monte Carlo SSA: Detecting Irregular Oscillations in the Presence of Colored Noise. *Journal of Climate*, c. 9, s.12, ss.3373-3404.
- ALLEN, M. R., DETTINGER, M. D., GHIL, M., IDE, K., KONDRASHOV, D., MANN, M., . . . YIOU, P. (2002). Advanced spectral methods for climatic time series. *Reviews of Geophysics*, c. 40, s.1, ss.1-41.
- ALPER, C. E., & ARUOBA, S. B. (2001, Nisan-Mayıs-Haziran). Makroekonomik Verilerin Mevsimsellikten Arındırılması: Türkiye'deki Uygulamalı Araştırmacılara Dikkat Notu. *İMKB Dergisi*, c. 5, s.18, ss.31-50.

- ATEŞOĞLU, H. S., & VILASUSO, J. R. (1999). A band spectral analysis of exports and economic growth in the Unites States. *Review of International Economics*, c. 7, s. 1, ss. 140-152.
- BECKETTI, S., & SELON, G. H. (1989). Has Financial Market Volatility Increased? *Economic Review*, c. 2, ss.3-16.
- BEKÇİOĞLU, S., & ADA, E. (1985). Menkul Kıymetler Piyasası Etkin mi? *Muhasebe Enstitüsü Dergisi*, s.41.
- BEVERIDGE, W. H. (1922). Wheat Prices and Rainfall in Western Europe. *J. Royal Statistical Society*, c. 85, s. 85, ss.412-459.
- BOLAK, M. (1997, Kasım). Sanayi Şirketleri Devlete Borç Veriyor. *Banka ve Ekonomik Yorumlar*, s.11, s.28.
- BOLLERSLEV, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, c. 31, ss.307-327.
- BOSWORTH, B. (1975). The Stock Market and Economy. *Brookings Paper on Economic Activity*, c. 6, s. 2, ss.257-300.
- BROOMHEAD, D. S., & KING, G. P. (1986, Haziran-Temmuz). Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data. *Physica D*, c. 20, s. 2, ss.217-236.
- CANBAŞ, S., & KANDIR, S. Y. (2007). Yatırımcı Duyarlılığının İMKB Sektör Getirileri Üzerindeki Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, c. 22, s. 2, ss.219-248.
- ÇETİNYOKUŞ, T., & GÖKÇEN, H. (2002). Borsada Göstergelerle Teknik Analiz için bir Karar Destek Sistemi. *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Der.*, c. 17, s. 1, ss.43-58.
- CEYLAN, A. (1983, Nisan). "Pay Senedi Değerlemesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 4, s. 1, s.136.
- ÇİFTER, A., & ÖZÜN, A. (2008, Nisan). Multiscale Systematic Risk: An Application on the ISE-30. *The Istanbul Stock Exchange Review*, c. 10, s.38, ss.1-24.
- ÇITAK, S. (1999, Ekim-Kasım-Aralık). Dünya Altın Piyasaları, İstanbul Altın Borsası ve Risk Yönetiminde Altın. *İMKB Dergisi*, c. 3, s.12, ss.51-90.
- COE, D. T., & HELPMAN E. (1995). International R & D Spillovers. *European Economic Review*, c. 39, ss.859-887.
- CONRAD, J., & KAUL, G. (1988). Time-Variation in Expected Returns. *Journal of Business*, c. 61, ss. 409-425.
- CROUX, C., DEKIMPE, M., & LEMMENS, A. (2005). Measuring and Testing Granger Causality Over the Spectrum: An Application to European Production Expectation Surveys. *International Journal of Forecasting*, c. 24 s. 3, ss. 414-431.
- CROWLEY, P. M. (2007, Ekim). A Guide to Wavelets for Economists. *Journal of Economic Surveys*, c. 21, s. 2, ss. 207-267.

- ÇUKUR, S. (1997). Exchange Rate Exposure: A firm and Industry Level Investigation. *The ISE Review*, c. 10, s. 38, ss. 25-42.
- DE BONDT, W., & THALER, R. (2006). Further Evidence on Investor Overreaction and Stock Market Seasonality. *Journal of Finance*, c. 30, ss. 2489-2515.
- DIMITROVA, D. (2005, Ağustos). The Relationship between Exchange Rates and Stock Prices: Studies in a Multivariate Model. *Issues in Political Economy*, c. 14, s. 1, ss. 3-9.
- DİZDARLAR, H. I., & DERİNDERE, S. (2008, Ekim). Hisse Senedi Endeksini Etkileyen Faktörler: İMKB 100 Endeksini Etkileyen Makro Ekonomik Göstergeler Üzerine Bir Araştırma. *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, c. 19, s. 61, ss.113-124.
- DURUKAN, M. B. (1999, Tem-Ağu-Eyl). İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Makroekonomik Değişkenlerin Hisse Senedi Fiyatlarına Etkisi. *İMKB Dergisi*, c. 3, s.11, ss.19-47.
- EKEN, H., & ADALI, S. (2008, Ocak). Piyasa Etkinliği ve İMKB: Zayıf Formda Etkinliğe İlişkin Ekonometrik Bir Analiz. *Muhasebe ve Finansman Dergisi* s.37.
- ELLISON, G. F. (1993). Rules of Thumb For Social Learning. *Journal of Political Economy*, c. CI, ss.93-126.
- ENGLE, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, c. 50, s. 4, ss.987-1008.
- ERGÜL, N. (2009). Ulusal Hisse Senetleri Piyasası'nda Etkinlik. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, c. 7, s.1.
- FAMA, E. F. (1965, Eylül-Ekim). Random Walks in Stock Market Prices. *Financial Analysts Journal*, c. 21, s. 5, ss.40-48.
- FAMA, E. F. (1970, Mayıs). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, c. 25, s. 2, ss.383-417.
- FAMA, E. F. (1981, Eylül). Stock Returns, Real Activity, Inflation, and Money. *The American Economic Review*, c.71, s.4, ss.545-565.
- FAMA, E. F., & FRENCH, K. R. (2003, Yaz). The CAPM: Theory and Evidence. *The Journal of Economic Perspectives*, c. 18, s. 3, ss.25-46.
- FRANKEL, F. & ROSE, A. (1998). The Endogeneity of the Optimum Currency Area Criteria. *The Economic Journals*, c. 108, ss. 1009-1025.
- FRANKEL, J. A., & FROOT, K. A. (1990, Mayıs). The Rationality of the Foreign Exchange Rate: Chartists, Fundamentalists, and Trading in the Foreign Exchange Rate. *American Economic Review*, c. 80, ss.181-185.

- FROOT, K. A., SCHARFSTEIN, D. S., & STEIN, J. (1992). Heard on the Street: Information Inefficiencies in a Market with Short-term Speculators. *Journal of Finance*, c. 47, ss.1461-1484.
- GAYĞUSUZ, F. (2006). Hisse Senedi Piyasalarında İşlem Hacmi – Volatilite İlişkisi ve İMKB'ye Ait Bir Uygulama. *Çukurova Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 10, s.1.
- GENCELİ, M. (1977). Trend Oluşturulmasına İlişkin Bazı Sorunlar. *İktisat Fakültesi Mecmuası*, c. 35, s.1-4, s.211.
- GENÇTÜRK, M. (2009). Finansal Kriz Dönemlerinde Makroekonomik Faktörlerin Hisse Senedi Fiyatlarına Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 14, s.1, ss.127-136.
- GHIL, M., & MO, K. (1991, Mart). Interseasonal Oscillations in the Global Atmosphere. Part I: Northern Hemisphere and Tropics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, c. 48, s. 5, ss.752-779.
- GHIL, M., & VAUTARD, R. (1991, Mart). Interdecadal Oscillations and the Warming Trend in Global Temperature Time Series. *Nature*, c.350, ss.324-327.
- GHIL, M., ALLEN, M. R., DETTINGER, M. R., IDE, K., KONDRASHOV, D., MANN, M., . . . YIOU, P. (2002, Şubat). Advanced Spectral Methods for Climatic Time Series. *Reviews of Geophysics*, c. 40, s.1, ss.1-41.
- GÖKÇE, A. (2002). İMKB'de Fiyat-Hacim İlişkisi: Granger Nedensellik Testi. *Gazi Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi*, s.4.
- GOLAN, A. (2002, Mart). Information and Entropy Econometrics - Editor's View. *Journal of Econometrics*, c. 107, s.1-2, ss.1-15.
- GOONATILAKE, R., & HERATH, S. (2007). The Volatility of the Stock Market and News. *International Research Journal of Finance and Economics*, s.11, ss.53-65.
- GOTTMAN, J. M., & RINGLAND, J. T. (1981, Haziran). The Analysis of Dominance and Bidirectionality in Social Development. *Child Development*, c. 52, s. 2, ss.393-412.
- GRANGER, C. W. (1966, Ocak). The Typical Spectral Shape of an Economic Variable. *Econometrica*, c. 34, s. 1, ss.154-155.
- GRANGER, C. W. (1982, Mart). Acronyms in Time Series Analysis. *Journal of Time Series Analysis*, c. 2, ss.103-108.
- GRENANDER, U., & ROSENBLATT, M. (1953). Statistical Spectral Analysis of Time Series Arrising from Stationary Stochastic Process. *The Annals of Mathematical Statistics*, c. 24, s. 4, ss.537-558.
- GÜRÜNLÜ, M. (2011, Temmuz). Finansal Piyasaların Etkinliği Teorisinden Davranışsal Finansa: Finans Teorisinin Evrimi. s.92.

- HALLEGATTE, S., GHILL, M., DUMAS, P., & HOURCADE, J.-C. (2008, 7). Business Cycles, Bifurcations and Chaos in Neo-Classical Model with Investment Dynamics. *Journal of Economic Behavior & Organization*, c.67, s.1, ss.57-77.
- HANSEN, P., & LUNDE, A. (2005). A Forecast Comparison of Volatility Models: Does anything Beat a GARCH (1,1)? *Journal of Applied Econometrics*, c.20, s.7, ss.873-889.
- HARVEY, A. C., & JAEGER, A. (1993). Detrending, Stylized Facts and the Business Cycle. *Journal of Applied Econometrics*, c. 8, ss.231-247.
- HEALY, P. M., & PALEPU, K. G. (2001). Information asymmetry, corporate disclosure, and the empirical markets: A Review of The Empirical Disclosure. *Journal of Accounting and Economics*, ss.405-440.
- HIGO, M., & NAKADA, S. K. (1998). How can we extract a fundamental trend from an economic time series? *Monetary and Economic Studies*, c. 16, s. 2, ss. 61-111
- HODRICK, R. J., & PRESCOTT, E. C. (1997, Şubat). Post-War US Business Cycles: An Empirical Investigation. *Journal of Money, Credit and Banking*, c.28, s.4, ss.1-16.
- İMKB Araştırma Müdürlüğü. (1994). Uluslararası Portföy Hareketlerinde Portföy Yatırımları ve Türkiye. *İMKB Araştırma Yayınları*, c. 3, s.8.
- JENKINS, G. M. (1961). General Considerations in the Analysis of Spectra. *Technometrics*, c. 3, ss. 133-166.
- JENKINS, G. M., & PRIESTLEY, M. B. (1957). The Spectral Analysis of Time Series. *Journal of Royal Statistical Society, Series B*, c. 19, ss.1-12.
- JORION, P. (1991). The Pricing of Exchange Rate Risk in the Stock Market. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, c. 26, s. 3, ss.363-376.
- KALEMLİ-ÖZCAN, Ş., SØRENSEN, B. E., YOSHA, O. (2001). Economic Integration, Industrial Specialization, and the Asymmetry of Macroeconomic Fluctuations. *Journal of International Economics*, c. 55, ss.107-137.
- KANALICI-AKAY, H., & NARGELEÇEKENLER, M. (2006). Finansal Piyasa Volatilitesi ve Ekonomi. *Ankara Üniversitesi, Siyasal Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 61, s. 4, ss.5-36.
- KARAMUSTAFA, O., & KÜÇÜKKALE, Y. (2002). Türkiye’de Kriz Döneminde Kur-Faiz-Borsa İlişkilerinin Dinamik Analizi. *Banka-Milli ve Ekonomik Yorumlar*, s. 11, ss.47-56.
- KARGI, N., & TERZİ, H. (1997, Ekim, Kasım, Aralık). Türkiye’de İMKB, Enflasyon, Faiz Oranı ve Reel Sektör Arasındaki Nedensellik İlişkilerinin VAR Modeli ile Belirlenmesi. *İMKB Dergisi*, c. 1, s. 4, ss.27-39.

- KASMAN, S. K. (2004). Hisse Senedi Getirilerinin Oynaklığı ile Makroekonomik Değişkenlerin Oynaklığı Arasındaki İlişki. *İMKB Dergisi*, c.8, s. 32, ss.1-10.
- KAZAN, A., & ALTAN, Ş. (2002). Zaman Serilerin Mevsimsel Etkiler ve En Küçük Kareler Yönteminin Kullanımı. *Gazi Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 1, ss.1-10.
- KENDALL, M. G. (1953). The Analysis of Economic Time Series. I. *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, c. CXVI, s. 1, ss.11-34.
- KESTIN, T. S., KAROLY, D. J., YANO, J. I., & RAYNER, N. A. (1998). Time Frequency Variability of ENSO and Stochastic Simulation. *Journal of Climate*, c. 11, s. 9, ss.2258-2272.
- KIYILAR, M., & KARAKAŞ, C. (2005, Ekim). İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Zaman Dayalı Anomalilere Yönelik Bir İnceleme. *Yönetim*, c.16, s. 52, ss.17-25.
- KWON, C. S., & SHIN, T. S. (1999). Cointegration and Causality between Macroeconomic Variables and Stock Market Returns. *Global Finance Journal*, c. 10, s. 1, ss.71-81.
- LEUTHOLD, R. M. (1972, Eylül). Random Walk and Price Trends: The Live Cattle Futures Market. *Journal of Finance*, c. 27, s. 4, ss.879-889.
- LEVY, D., & DEZHBAKSH, H. (2003). On the Typical Special Shape of an Economic Variable. *Applied Economic Letters*, c. 10, s. 7, ss.417-423.
- LOMNICKI, Z. A. (1961). Test for Departure from Normality in the Case of Linear Stochastic Process, *Metrika*, c. 4, s. 1, ss. 37-61.
- LUCAS, R. (1980). Methods and Problems in Business Cycle Theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, c.12, s.4, ss. 696-715.
- LUNDGREN, T. (2005, Ağustos). Assessing the Investment Performance of Swedish Timberland: A Capital Asset Pricing Model Approach. *The Board of Regents of the University of Wisconsin System, Land Economics*, c. 81, s. 3, ss.353-362.
- MANKIW, N. G., & SHAPPIRO, M. D. (1985, Eylül). Trends, Random Walks and Tests of the Permanent Income Hypothesis. *Journal of Monetary Economics*, c. 16, s. 2, ss.165-174.
- MAPA, D. S. (2004). A Forecast Comparison of Financial Volatility Models: GARCH (1,1) Is Not Enough. *The Philippine Statistics*, c. 53, s. 1-4, ss.1-20.
- MARKOWITZ, H. M. (1952, Mart). Portfolio Selection. *The Journal of Finance* c. XII, ss.77-91.
- MCCORD, S. O. (1977, Güz). Portfolio Risk: A Review of Theory and Empirical Evidence. *Nebraska Journal of Economics and Business*, c.16, s.4, ss.75-89.

- MCCULLOUGH, B. D. (1995, Kasım). A Spectral Analysis of Transactions Stock Market Data. *The Financial Review*, c. 30, s. 4, ss.823-842.
- McLEOD, A. I., YU, H., & MAHDİ, E. (2011, Temmuz 27). Time Series Analysis with R. (T. U. Department of Statistical and Actuarial Sciences, Dü.) *Handbook of Statistics*, c. 30, ss.661-712.
- MODIGLIANI, F., & MILLER, H. M. (1958, Haziran). The Cost of Capital, Corporation Finance and Theory of Investment. *The American Economic Review*, c. 48, s. 3, ss.262-297.
- MYERS, S. C. (1984, Ocak-Şubat). Finance Theory and Financial Strategy. *Interfaces*, c. 14, s.1, ss.126-137.
- NEFTÇİ, S. N. (1984). Are Economic Time Series Asymmetric Over the Business Cycle? *Journal of Political Economy*, c. 92, ss.307-328.
- ÖZOĞUZ, K. (1986). Zaman Serilerinde Trend Fonksiyon Tipinin Belirlenmesi ve Yorumu. *İ.Ü. İktisat Fakültesi Mecmuası*, c. 42, s.1-4, ss.73-91.
- PALUŠ, M., & NOVOTNÁ, D. (1998, Kasım). Detecting Modes with Nontrivial Dynamics Embedded in Colored Noise: Enhanced Monte Carlo SSA and the Case of Climate Oscillations. *Physics Letters A*, c.248, s.2-4, ss.191-202.
- PALUŠ, M., & NOVOTNÁ, D. (2004, Aralık). Enhanced Monte Carlo Singular System Analysis and Detection of Period 7.8 Years Oscillatory Modes in the Monthly NAO Index and Temperature Records. *Nonlinear Processes in Geophysics*, c.11, ss.721-729.
- PARZEN, E. (1961). Mathematical consideration in the estimation of spectra. *Technometrics*, c. 3, s. 2, ss.167-190.
- PATELL, J. M., & WOLFSON, M. A. (1984, Haziran). The Intraday Speed of Adjustment of Stock Prices to Earnings and Dividend Announcements. *Journal of Financial Economics*, c. 13, s. 2, ss.223-252.
- PAYASLIOĞLU, C. (2001, Nisan, Mayıs, Haziran). İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Volatilite Asimetrisinin Sınanması. *İMKB Dergisi*, c. 5, s. 18, ss.1-11.
- PERCIVAL, D. B. (1995, Mart). On Estimation of the Wavelet Variance. *Biometrika*, c.82, s.3, ss.619-631.
- PINTO, P. M., WEYMOUTH, S. J., & GOUREVITCH, P. (2010). The Politics of Stock Market Development. *Review of International Political Economy*, c.17, s. 2, ss.378-409.
- PRESCOTT, E. C. (1986) Theory Ahead of Business Cycle Measurement, *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, c. 25, ss.11-44.
- QIU, L., & ER, M. H. (1995). Wavelet Spectrogram of Noisy Signals. *International Journal of Electronics*, c.79, s.5, ss.665-677.

- RAMSEY, J. (2002, Kasım). Wavelets in Economics and Finance: Past and Future. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, c.6, s.3, ss.1-27.
- ROBERTS, H. V. (1959, Mart). Stock-Market "Patterns" and Financial Analysis: Methodological Suggestions. *Journal of Finance*, c.14, s.1, ss.1-10.
- SANTA-CLARA, P., & VALKANOV, R. (2003, Ekim). The Presidential Puzzle: Political Cycles and the Stock Market. *The Journal of Finance*, c.LVIII, s.5, ss.1841-1872.
- SARITAŞ, H. (2007). Türkiye ve Avrupa Birliği Piyasaları Arasındaki Korelasyon Düzeyinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, c.22, s.2, ss.325-337.
- SEFİL, S., & ÇİLİNGİROĞLU, H. K. (2011, Bahar). Davranışsal Finansın Temelleri: Karar Vermenin Bilişsel ve Duygusal Eğilimleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c.10, s.19, ss.247-268.
- SEYHUN, H. N. (1986). Insiders' Profits, Cost of Trading, and Market Efficiency. *Journal of Financial Economics*, c.16, ss.189-212.
- SHARPE, W. F. (1964, Eylül). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, c. 19, s. 3, ss.425-442.
- SHILLER, R. J. (1984). Stock Prices and Social Dynamics. *Brookings Papers on Economic Activity*, c. 15, s. 2, ss.71-87.
- SHILLER, R. J. (2003, Kış). From Efficient Market Theory to Behavioral Finance. *The Journal of Economic Perspective*, c. 17, s.1, ss.83-104.
- SOYDEMİR, S. (1997, Kış). Sermaye Piyasası Kurulu. *Ekonomide Durum*, s.170.
- STANLEY, L. (1856). Presidential address o the British Association for the Advancement of Science. *Statistical Journal*, s.305.
- TEKELİ, R. (2013). Bütçe Açıklarının Hisse Senedi Fiyat Hareketlerine Etkisi: Türkiye Örneği. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler MYO Dergisi*, c. 16, s. 2, ss.215-216.
- THEILER, J., EUBANK, S., LONGTIN, A., GALDRIKIAN, B., & FARMER, J. D. (1992, Eylül). Testing for Nonlinearity in Time Series: The Method of Surrogate Data. *Physica D*, c. 58, s. 1, ss.77-94.
- THOMAKOS, D. D., WANG, T., & WILLE, L. T. (2002, Eylül). Modelling Daily Realized Futures Volatility with Singular Spectrum Analysis. *Physica A*, c.312, s.3, ss.505-519.
- THOMSON, D. J. (1982, Eylül). Spectrum Estimation and Harmonic Analysis. *Proceedings of the IEEE*, c. 70, s. 9, ss.1055-1096.
- TOBIN, J. (1958, Şubat). Liquidity Preference as Behaviour Towards Risk. *The Review of Economics Studies*, c. 25, s. 2, ss.65-86.

- TORRENCE, C., & COMPO, G. P. (1998, Ocak). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of American Meteorological Society*, c.79, s.1, ss.61-78.
- TUFAN, E., & HAMARAT, B. (2009). Jinx Number Effect. *The Istanbul Stock Exchange Review*, c.11, s.41, ss.45-60.
- ÜNSAL, A. (1997, Güz). Zaman Serilerinde Regresyon ve Varyans Analizi Yöntemleri İle Mevsimsel Dalgalanmaların Araştırılması ve Bir Uygulama. *Ekonomik Yaklaşım*, c. 8, s. 26, ss.119-130.
- ÜNSAL, H. (2003). Türkiye’de Finansal Serbestleşme Sürecinde İç Borçlanma ve Sermaye Piyasası Üzerindeki Etkileri. *G.Ü. İ.İ.B.F Dergisi*, s.3, ss.191-205.
- ÜZGÖREN, N., & UZGÖREN, E. (2005, Ocak). Zaman Serilerinde Sahte Regresyon Sorunu ve Reel Kamu Harcamalarına Yönelik Bir Ekonometrik Model Uygulaması. *Akademik Bakış*, s.5, ss.1-14.
- VAN den BOS, A. (1971, Temmuz). Alternative Interpretation of Maximum Entropy Spectral Analysis. *IEEE Transactions on Information Theory*, c. 17, s.4, ss.493-494.
- VAUTARD, R., & GHIL, M. (1989, Mayıs). Singular Spectrum Analysis in Nonlinear Dynamics, with Applications to Paleoclimatic Time Series. *Physica D*, c.35, s.3, ss.395-424.
- VAUTARD, R., YIOU, P., & GHIL, M. (1992, Eylül). Singular-spectrum Analysis: A Toolkit for Short, Noisy Chaotic Signals. *Physica D*, c.58, s.1-4, ss.95-126.
- VEJZAGIC, M., & ZARAFAT, H. (2013, Ekim). Relationship Between Macroeconomic Variables and Stock Market Index: Co-Integration Evidence from FTSE Bursa Malaysia Hijrah Shariah Index. *Asian Journal of Management Scineces & Education*, c.2, s.4, s.9.
- WEST, S. G., & HEPWORTH, J. T. (1991). Statistical Issues in the Study of Temporal Data: Daily Experiences. *Journal of Personality*, c.59, s.3, ss.609-662.
- WOLD, H. O. (1967). Book Review of Spectral Analysis of Economic Time Series by C. W. J. Granger (in association with M. Hatanaka). *The Annals of Mathematical Statistics*, c.38, s.1, ss.288-293.
- YILMAZ, Ö., GÜNGÖR, B., & KAYA, V. (2009). Hisse Senetleri ve Makroekonomik Değişkenler Arasındaki Eşbütünleşme ve Nedensellik. *İMKB Dergisi*, c.8, s.24, ss.1-16.

D. Raporlar

- ANDERS, P. (2011). *M310 Time Series and Financial Econometrics-Introduction into Spectral Analysis*. Lecture Note, University of Cambridge, Faculty of Economics: Lent.

- BLUME, M. E., & Siegel, J. J. (1992). *The Theory of Security Pricing and Market Structure*. University of Pennsylvania, The Wharton School. Rodley L. White Center for Financial Research: Philadelphia.
- CROUX, C., FORNI, M., & REICHLIN, L. (1999). *A measure of comovement for economic variables: Theory and empirics*. CEPR Discussion paper No:2339.
- CROUX, C., DEKIMPE, M., & LEMMENS, A. (2005). *The European Consumer: United in diversity?* ERIM Report Series Reference No. ERS-2005-022-MKT.
- DEMİRALP, S., & YILMAZ, K. (2010). *Para Politikaları Beklentilerinin Sermaye Piyasaları Üzerindeki Etkisi*. Working Paper Series, No 1008, TÜSİAD-Koç University Economic Research Forum: İstanbul.
- DİEBOLD, F. X., & SENHADJİ, A. S. (1996). *Deterministic vs Stochastic Trend in US GNP, Yet Again*. NBER (National Bureau of Economic Research). NBER (National Bureau of Economic Research): Cambridge.
- EICHENGREEN, B., & TONG, H. (2005). *Is China's FDI Coming at the Expense of Other Countries?* The National Bureau of Economic Research: Cambridge.
- ESER, R. (1995). *"Sermaye Piyasasında Yaratılan Kaynaklar ve Dağılımı", Türkiye'de Kaynak Aktarım Sürecinde Sermaye Piyasalarının Rolü:1980 Sonrası Dönemin Bir Değerlendirmesi*. SPK Araştırma Dairesi Yayını: Ankara.
- GOLDBERG, M., & SCHULMEISTER, S. (1988). *Technical Analysis and Stock Market Efficiency*. New York University. C.V. Starr Center for Applied Economics: New York.
- GRANGER, C. W., & MORGENSTERN, O. (1962). *Spectral Analysis of New York Stock Market Prices*. *Econometric Research Program. Research Momerandum No 45*. Princeton University: Princeton.
- HATANAKA, M. (1965). *A Spectral Analysis of Business Cycle Indicators: Lead-Lag in terms of all Time Point*. Research Momerandum No 53, Princeton University, Econometric Reseach Program: Princeton.
- IACOBUCCI, A. (2003, Kasım). *Spectral Analysis for Economic Time Series*. No 2003-07, Documents de Travail de l'OFCE, Observatoire Francais des Conjonctures Economiques (OFCE): Paris.
- KOH, Sung Soo. (1989). *The Korean Stock Market: Structure, Behavior, and Test of Market Efficiency*, Disseration Thesis, City University, Banking & Finance, Business School: Londra.
- KÖROĞLU, T. (2009). *"Finansal Varlık Fiyatlama Modeli" (Capital Asset Pricing Model)*. Wroking Paper YL-İŞL-08011, Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı: Mersin.
- LAGG, A., & THOMAS, R. (2008). *Spectral Analysis and Time Series*. *Mac-Planck-Institut für Sonnensystemforschung*: Katlenburg-Lindau.

- MELE, A. (2005). *Rational Stock-Market Fluctuations*. Working Paper, London School of Economics and Political Science: Londra.
- MUTAN, O. C., & ÇANAKÇI, E. (2007). *Makroekonomik Göstergelerin Hisse Senedi Piyasası Üzerindeki Etkileri*. Sermaye Piyasası Kurulu Araştırma Raporu: Ankara.
- NYMOEN, R. (2014). *Spectral analysis. Reference note to lecture 9 in ECON5101 Time Series Econometrics*. Lecture Note, University of Oslo, Department of Economics: Oslo.
- OWENS, R. E., & SARTE, P. G. (2005). *Understanding OECD output correlation*. Research Paper No: 2001-05, Reserve Bank of Australia, Sydney.
- PACZYNSKI, W., & WOZNIAK, P. (2007). *Business Cycle Coherence between Euro Area and the EU New Member State: A Time-Frequency Analysis*. Center for Economic Research and Graduate Education and the Economics Institute (CERGE-EI): Prague.
- PERCIVAL, J. R. (1973). *Spectral Analysis of Security Market Prices and Yields in Fundamental Time*. University of Pennsylvania, The Wharton School, Working Paper No: 10-76: Philadelphia.
- POLLOCK, D. S. G., (2008). *The frequency analysis of the business cycle*. Working Paper No: 08/12, University of Leicester.
- SELLA, L. (2008). *Old and New Spectral Techniques for Economic Time Series*. Working Paper No. 09/2008, Università di Torino, Dipartimento di Economia "S. Cagnetti de Martiis": Torino.
- SELLA, L., VIVALDO, G., ANDREAS, G., & GHIL, M. (2013). *Economic Cycles and Their Synchronization: A Survey of Spectral Properties*. Working Paper No 105.2013, Fondazione Eni Enrico Mattei: Milano.
- SHACHMUROVE, Y. (1997). *Formulating Optimal Portfolios in South American Stock Markets*. CARESS Working Paper 97-06, University of Pennsylvania, Department of Economics: Philadelphia.
- SHILLER, R. J. (1987). *Investor Behaviour in the October 1987 Stock Market Crash: Survey Evidence*. MIT Press: Cambridge.
- SOMMER, M., SPATAFORA, N., ESPIRITU, A., & STACK, A. (2005). *The Changing Dynamics of the Global Business Cycle*. IMF: Washington.
- VARLIK, B. (2003). *Değişik Finansal Elementlerin Portföy Çeşitlemesi*. Working Paper, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı: Aydın.
- WANG, P. (1999). *Spectral Analysis of Economic Time Series Behavior*. Working Paper No: 9914. Manchester School of Management.

WONG, W.-K., MANZUR, M., & CHEW, B.-K. (2002). *How Rewarding Is Technical Analysis? Evidence from Singapore Stock Market*. Working Paper No 0216, National University of Singapore, Department of Economics: Singapore.

E. Kurultay/Sempozyum Bildiri Kitapları

BURG, J. P. (1967). Maximum Entropy Spectral Analysis. *37th Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicists*: Oklahoma City.

ERTAŞ, V. (2014, Ocak 15). VII. Uluslararası Kurumsal Yönetim Zirvesi Açılış Konuşması: İstanbul.

HOSSAIN, N., TROSKIE, C. G., & GUO, R. (2005). Comparisons of The Ex Post Efficient Portfolios Under GARCH (1,1) Modeling and GARCH Model Extensions. *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Industrial Engineering–Theory, Applications and Practice*, (s. 419-425): Clearwater.

KÜÇÜKSÖZEN, C. (2006, Mayıs 23). Sermaye Piyasaları ve Mevzuatı. *SPK Sunumu*. Dokuz Eylül Üniversitesi: İzmir.

ÖĞÜT, K. S. (1998). Trafik Akımlarının Spektral Analiz Yöntemi ile Modellenmesi. *4ncü Ulaştırma Kongresi*, (s. 147-156): Denizli.

PERCIVAL, D. (2000). *Introduction to Spectral Analysis*. Seminer, University of Washington, Applied Physics Laboratory: Seattle.

TOBIN, J., & DOLDE, W. (1971). Wealth, Liquidity and Consumption. *Consumer Spending and Monetary Policy, Monetary Policy Series No: 5* (ss. 99-146). Federal Reserve Bank of Boston: Boston.

TUKEY, J. W., (1959) An Introduction to the Measurement of Spectra, *in Probability and Statistics* (ss.300-330): Stockholm

TUNA, K. (2009). Finansal Risk Yönetimi. *İstanbul Üniversitesi Sigorta Acenteliği Eğitim Programı*, (s. 11): İstanbul.

F. Tezler

ALEXAKIS, C.(1992). *An Empirical Investigation of the Efficient Market Hypothesis: The Case of the Athens Stock Exchange*, Dissertation Thesis, University of York, Department of Economics and Related Studies:, York

BÁTOROVÁ, I. (2012). *Spectral Techniques for Economic Time Series*. Dissertation Thesis, Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics: Bratislava.

BEKÇIOĞLU, S. (1983). *Menkul Kıymet Analizleri ve Türkiye'deki Uygulama*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü: Ankara.

- ÇİLİNGİRTÜRK, A. M. (1998). *Spektral Analiz Yöntemi ile Faiz Oranlarındaki Düzenli Dalgalanmaların İncelenmesi*. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İstatistik Bilim Dalı: İstanbul.
- ELYAK, A. (2008). *İMKB 100 Endeksini Etkileyen Faktörlerin Ekonometrik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı: İstanbul.
- ERGÜN, A. (2007). *Türk Euro Tahvillerinde Fiyat Tahmini ve Risk Analizinin Durasyon ve Konvekslik Yöntemiyle Uygulanabilirliğinin Testi*. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Finansman Anabilim Dalı: Ankara.
- ERİĞÜÇ, C. A. (1995). *Application of Spectral and Cross-Spectral Analysis to Istanbul Stock Exchange Market*, Thesis, Bilkent University, Department of Economics and the Institute of Economics and Social Sciences: Ankara.
- KÜÇÜKSİLLE, E. (2004). *Optimal Portföy Oluşturmaya Davranışsal Bir Yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı: Isparta.
- MUMCU, F. (2005). *Hisse Senedi Fiyatlarını Etkileyen Makroekonomik Faktörler: İMKB Üzerine Bir Uygulama*. *Yüksek Lisans Tezi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü: Isparta.
- ÖZBAY, E. (2007). *İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda İşlem Gören Şirketlerin Yıllar İtibariyle Şeffaflık Düzeyleri ile Likiditeleri Arasındaki İlişki (1995-2005)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü: İstanbul.
- ÖZBAY, E. (2009). *The Relationship between Stock Returns and Macroeconomic Factors: Evidence from Turkey*. Doktora Tezi, University of Exeter, Business School: Exeter.
- ÖZKURT, İ. C. (2008). *Makro Ekonomik Değişim ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında İşlem Gören İmalat Sanayi Firmalarının Finansal Yapıları İlişkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı: Balıkesir.
- ÖZTÜRK, B. (2008). *Makroekonomik Faktörlerin İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Ulusal-100 Endeksi ve Volatilitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi (1997-2006)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Bölümü: İstanbul.
- PALANLI, İ. (1998). *Pay Senedi Değerini Belirleyen Firma Dışı Etkenlerin İMKB Ulusal 100 Endeksinin Değişimi Üzerindeki Etkileri*. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, 28, İstanbul Üniversitesi: İstanbul.
- TUZCU, M. A. (1999). *Hisse Senedi Fiyatlarını Etkileyen Faktörler ve İMKB'de Volatilité*. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü: Ankara.

G. İnternet Kaynakları

Anonim. *BİST PAY ENDEKSLERİ TEMEL KURALLARI*. 1 10, 2016 tarihinde [www.borsaistanbul.com: http://www.borsaistanbul.com/docs/default-source/endeksler/bist-pay-endeksleri-temel-kurallari.pdf?sfvrsn=10](http://www.borsaistanbul.com/docs/default-source/endeksler/bist-pay-endeksleri-temel-kurallari.pdf?sfvrsn=10) adresinden alındı

Anonim. *Forex Forecasting*. 4 14, 2013 tarihinde www.babypips.com adresinden alındı

BARRET, D. (2005). *Stock Market Volatility – A Psychological Phenomenon?*”. Ocak 5, 2012 tarihinde [EMP/Stock Market Volatility: https://www.tcd.ie/Economics/assets/pdf/SER/1996/David_Barrett.html](https://www.tcd.ie/Economics/assets/pdf/SER/1996/David_Barrett.html) adresinden alındı

GRUNDER, B., MACDONALD, M. S., & ZINGG, P. *Global Technical Research and Behavioural Finance (Technical Analysis Explained)*. 1 16, 2014 tarihinde [Credit Suisse Web Sitesi: https://www.credit-suisse.com/pwp/pb/pb.../technical_tutorial_de.pdf](https://www.credit-suisse.com/pwp/pb/pb.../technical_tutorial_de.pdf) adresinden alındı

SELVAM, A. M. (2003, Ekim). *Spectral Analysis of Dow Jones Index and Comparison with Model Predicted Cycles During 1900-2005*. Mart 6, 2014 tarihinde [http://redshift.vif.com/JournalFiles:](http://redshift.vif.com/JournalFiles) <http://redshift.vif.com/JournalFiles/V10NO4PDF/V10N4SEL.pdf> adresinden alındı

EKLER

EK-1 Beklenti Fonksiyonu Notasyonu

Eğer rastgele değişken X , $F(x)$ şeklinde bir dağılım fonksiyonuna sahipse, X 'in $g(x)$ beklenti fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$E[g(X)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) dF(x)$$

Böylece, $p_j = Prob(X = X_j)$ ayrık dağılım fonksiyonuna sahip değişken için;

$$E[g(X)] = \sum_{j=1}^{\infty} p_j g(X_j)$$

ve $dF(x) = f(x)dx$ gibi bir differensiyel dağılım fonksiyonuna sahip değişken için;

$$E[g(X)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) f(x) dx$$

Özellikle, böyle bir değişkenin ortalama ve varyansı;

$$m = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

$$\sigma^2 = E[(X - E[X])^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m)^2 f(x) dx$$

X ve Y şeklindeki iki rastgele değişken için ise eşitlik şu şekilde gösterilebilir;

$$E[aX + bY] = aE[X] + bE[Y]$$

ve eğer iki değişken ilintisiz (*uncorrelated*) ise,

$$E[XY] = E[X]E[Y]$$

buradan beklentinin iki değişkenli tanımını gösterirsek;

$$E[g(XY)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) dF(x, y)$$

Burada, $F(x, y)$, X ve Y değişkenlerinin iki değişkenli dağılım fonksiyonunu gösterir.

Zaman serilerinde, beklenti ele alınan süreçle bağlantılı olarak kullanıldığı zaman doğru sonuç verecektir.

EK-2 $k=(2n/m)$ 'nın çeşitli değerleri ve $\alpha=5\%$ ve 10% için $T_\alpha(m,n)$ ve $T'_\alpha(m,n)$ değerleri

$k = \frac{2n}{m}$	Tüm değerlerin %95 aşımı $[T_{\%5}]$	Tüm değerlerin %90 aşımı $[T_{\%10}]$	Tüm değerlerin %10 aşımı $[T'_{\%10}]$	Tüm değerlerin %5 aşımı $[T'_{\%5}]$
2	0,05	0,10	2,30	2,99
3	0,12	0,20	2,08	2,60
4	0,18	0,26	1,94	2,37
5	0,23	0,32	1,85	2,21
6	0,27	0,37	1,77	2,10
8	0,34	0,44	1,68	1,94
10	0,39	0,49	1,60	1,83
12	0,43	0,53	1,55	1,75
15	0,48	0,57	1,48	1,66
20	0,54	0,62	1,42	1,51
30	0,62	0,69	1,34	1,46
50	0,69	0,75	1,26	1,34
100	0,77	0,82	1,18	1,22

Ek-3 6 Ocak 1995 – 8 Ocak 2015 Yılları Aralığındaki Haftalık Verilerin Klâsik Yöntemlerle Analizi R Kodları

```

# 1995-2015 Haftalık Verilerin Analizi
setwd("E:/Tez/Tez IS-DR-2013-01/Veriler")
library(tseries)
library(fUnitRoots)
library(TSA)

# BIST100H2: 6 Ocak 1995 - 8 Ocak 2015 tarihleri arasındaki haftalık kapanış verileri
BIST100H2 <- read.csv("BIST100_1995_2015_Haftalik_Kapanis.csv", header = TRUE, sep =
",")

# BIST100H2 özet istatistikleri
head(BIST100H2)
tail(BIST100H2)
dim(BIST100H2)
class(BIST100H2)
str(BIST100H2)
summary(BIST100H2)

BIST100H2TL <- BIST100H2$KAPANIS # TL cinsinden haftalık kapanış verileri

# BIST100H2TL özet istatistikleri
head(BIST100H2TL)
tail(BIST100H2TL)
dim(BIST100H2TL)
class(BIST100H2TL)
str(BIST100H2TL)
summary(BIST100H2TL)

# BIST100H2TL'yi zaman serilerine çevirmek için
BIST100H2TLZS <- ts(BIST100H2TL, start = c(1995,1), frequency = 52)
X100 <- BIST100H2TLZS # X100: değişkeninin kısa tanımı

# BIST100H2TLZS özet istatistikleri
head(BIST100H2TLZS)

```

```

tail(BIST100H2TLZS)
dim(BIST100H2TLZS)
class(BIST100H2TLZS)
str(BIST100H2TLZS)
summary(BIST100H2TLZS)

# İstatistiksel Duraganlık Testlerinin Yapılması
# Haftalik TL bazli endeksin duraganliginin otokorelayon ile test edilmesi
par(mfrow=c(2,1))
X100ACF <- acf(X100, lag.max = 1000, type = "correlation", plot = FALSE)
X100ACF
plot(X100ACF, type = "l", main="Ulusal 100 Endeksinin(TL) 1995-2015 Haftalik Verilerinin
Otokorelasyonu")

# Haftalik TL bazli endeksin duraganliginin kismi otokorelasyon ile edilmesi
par(mfrow=c(2,1))
X100PACF <- pacf(X100, lag.max = 1000, main="Ulusal 100 Endeksinin (TL) Kismi-
Otokorelasyonu")

# Ulusal 100 (TL) Endensine Birim-Kök Testlerinin yapılması
unitrootTest(X100, lags = 100, type = "ct", title = "Ulusal 100 Endeksinin (TL) 1995-2015
Haftalik Verilerinin Birim Kök Testi")
adf.test(X100, alternative = "stationary", k= 10)

# BIST100H2tL'den trendin belirlenmesi
time <- seq(1, length(BIST100H2TL))
BIST100H2TLT <- lm(BIST100H2TL~time)
X100TREND <- ts(BIST100H2TLT$fitted.values,start = c(1995,1), frequency = 52)
plot(X100TREND)
BIST100H2TLT$coefficients # Trend modelinin belirlenmesi

# Ulusal 100 endeksinin haftalik verilerini trend, mevsimsel ve rastgele bileşenlerine
ayrıştırmak için:
BIST100H2TLAYRIK <- decompose(BIST100H2TLZS)

```

```

par(mfrow=c(2,2))
plot.ts(BIST100H2TLZS, main="1995-2015 Haftalık", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (TL)")
plot.ts(BIST100H2TLAYRIK$trend,main="Trend", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100 Endeksi
(TL)")
plot.ts(BIST100H2TLAYRIK$seasonal,main="Mevsimsel", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (TL)")
plot.ts(BIST100H2TLAYRIK$random,main="Rastgele", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (TL)")

# veya
par(mfrow=c(1,1))
plot(BIST100H2TLAYRIK)

# stl fonksiyonuyla ayrıştırma (X100_1)
X100_1 <- stl(X100, s.window = 1, s.degree = 1, t.window = 500, t.degree = 1, l.window = 234)
plot(X100_1)
X100T <- X100_1$time.series[,2] # Trend verileri
X100TRDS <- X100-X100T # Trendsiz veri
plot(X100TRDS)
par(mfrow=c(2,1))
X100ACF2 <- acf(X100TRDS, lag.max = 1000, type = "correlation", plot = TRUE)
X100ACF2
unitrootTest(X100TRDS, lags = 10, type = "ct", title = "Ulusal 100 Endeksinin (TL) 1995-2015
Haftalık Verilerinin Birim Kök Testi")
adf.test(X100TRDS, alternative = "stationary", k= 10)
X100_2 <- stl(X100TRDS, s.window = 1, s.degree = 1, t.window = 104, t.degree = 1, l.window
= 312)
plot(X100_2)
X100_3 <- decompose(X100TRDS)
plot(X100_3)
# Bu yöntemle seriyi düzleştirme sonucu, seri durağanlık testlerinden geçmemiştir.

# Serinin ikinci farkı alınarak düzleştirme yapılması
par(mfrow=c(1,1))

```

```

X100DUZ <- diff(X100, difference = 1) # 1 defa farký alýnmýþ seri
plot(X100DUZ)
acf(X100DUZ, lag.max = 10, type = "correlation")
unitrootTest(X100DUZ, lags = 10, type = "ct", title = "Düzgünleþtirilmiþ Verilerinin Birim Kök
Testi")
adf.test(X100DUZ, alternative = "stationary", k= 10)
X100_4 <- decompose(X100DUZ)
plot(X100_4)
# Farkları alınarak düzleþtirilen seri durağanlık þartını saęlamıþtır.

# Düzleþtirilmiþ X100DUZ serisinin spektral yoğunluğu
par(mfrow=c(1,1))
X100SPEK1 <- spec(X100, taper = 0, detrend = FALSE, method = "pgram", spans = c(15,7),
main="Ham Verilerin Spektral Yoğunluk Grafiði")
X100SPEK <- spec(X100DUZ, taper = 0, detrend = FALSE, method = "pgram", spans =
c(31,9), main="Düzleþtirilmiþ Verilerin Spektral Yoğunluk Grafiði")

# ABD Dolari cinsinden haftalık kapanıþ verileri
BIST100H2USD <- BIST100H2$USD_BAZLI

# BIST100H2USD özet istatistikleri
head(BIST100H2USD)
tail(BIST100H2USD)
dim(BIST100H2USD)
class(BIST100H2USD)
str(BIST100H2USD)
summary(BIST100H2USD)

# BIST100H2USD'yi zaman serilerine çevirmek için
BIST100H2USDZS <- ts(BIST100H2USD, start = c(1995,1), frequency = 52)
X100USD <- BIST100H2USDZS # X100USD kısa yazýlýþ olarak

# BIST100H2USDZS özet istatistikleri
head(BIST100H2USDZS)
tail(BIST100H2USDZS)

```

```

dim(BIST100H2USDZS)
class(BIST100H2USDZS)
str(BIST100H2USDZS)
summary(BIST100H2USDZS)

# İstatistiksel Durağanlık Testlerinin Yapılması
# Haftalik USD bazli endeksin durağanlığının otokorelayon ile test edilmesi
X100USDACF <- acf(X100USD, lag.max = 1000, type = "correlation", plot = FALSE )
X100USDACF
plot(X100USDACF, type = "l", main="Ulusal 100 Endeksinin(USD) 1995-2015 Haftalik
Verilerinin Otokorelasyonu")

# Haftalik USD bazli endeksin durağanlığının kısmi otokorelasyon ile test edilmesi
par(mfrow=c(2,1))
X100USDPAKF <- pacf(X100USD, lag.max = 1000, main="Ulusal 100 Endeksinin (USD)
Kismi-Otokorelasyonu")

# Ulusal 100 (USD) Endensine Birim-Kök Testlerinin Yapılması
unitrootTest(X100USD, lags = 100, type = "ct", title = "Ulusal 100 Endeksinin (TL) 1995-2015
Haftalik Verilerinin Birim Kök Testi")
adf.test(X100USD, alternative = "stationary", k= 10)
BIST100H2USDAYRIK <- decompose(BIST100H2USDZS)
par(mfrow=c(2,2))
plot.ts(BIST100H2USDZS, main="1995-2015 Haftalik", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (USD)")
plot.ts(BIST100H2USDAYRIK$trend,main="Trend", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100 Endeksi
(USD)")
plot.ts(BIST100H2USDAYRIK$seasonal,main="Mevsimsel", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (USD)")
plot.ts(BIST100H2USDAYRIK$random,main="Rastgele", xlab="Yillar", ylab="Ulusal 100
Endeksi (USD)")
# veya
par(mfrow=c(1,1))
plot(BIST100H2USDAYRIK)

```

```

# Trendin çıkarılması
X100fit = lm(X100~time(X100)+(time(X100)^2), na.action = NULL) #X100'un zamanla
regresyonu
plot(resid(X100fit), xlab="zaman", main="Trendi Çıkarılmış")
abline(0,0)
plot(diff(X100), xlab="zaman", main="İnci Farki Alınmış")
abline(0,0)

# Logaritmik Çizim
par(mfrow=c(2,1))
plot(X100, main="X100")
plot(log(X100), main="log(X100)")

# Periyodgram
P_X100 <- abs(fft(X100fit)/1020)^2; Frekans <- 0:1019/1020
plot(Frekans, P_X100, type="o", xlab="frekans", ylab="periyodogram")
I_X100 <- abs(fft(diff(X100)))^2/1020 #the periodogram
P_X100_2 <- (4/1020)*I_X100[1:1020]
f <- 0:1019/1020
plot(f, P_X100_2, type="l", xlab="frekans", ylab="ölçekli periyodogram")

# MA filtresi
par(mfrow=c(1,1))
X100_ma5 <- filter(X100, sides = 2, rep(1,5)/5)
X100_ma53 <- filter(X100, sides = 2, rep(1,53)/53)
plot(X100, type="p", ylab="X100 Endeksi")
lines(X100_ma5); lines(X100_ma53)

# Periodogram 2
X100_per <- spec.pgram(diff(X100),taper = 0, log="no")

# Parametric Olmayan Ortalama Periyodogram
k = kernel("daniell", 4)
X100_ort <- spec.pgram(diff(X100), k, taper = 0, log = "no")

```

```
# Parametric Olmayan Ortalama Düzleştirilmiş Periyodogram
k = kernel("modified.daniell", c(7,7))
X100_ort_2 <- spec.pgram(diff(X100), k, taper = 0, log = "yes")

# Regression Yöntemiyle Trendin Ayrıştırılması
X1 <- time(X100) -mean(X100)
X2 <- X1^2; X3 <- X1^3; X4 <- X1^4; X5 <- X1^5
fit <- lm(X100~X1 + X2 + X3 + X4 + X5, na.action = NULL)
summary(fit)
plot(X100)
lines(fitted(fit))
X100yeni <- X100 - fitted(fit)
plot(X100yeni)

# Regression Yöntemiyle Trendin Ayrıştırılması - 2
X1 <- time(X100)
X2 <- X1^2; X3 <- X1^3; X4 <- X1^4; X5 <- X1^5
fit <- lm(X100~X1 + X2 + X3 + X4 + X5, na.action = NULL)
summary(fit)
plot(X100)
lines(fitted(fit))
X100yeni <- X100 - fitted(fit)
plot(X100yeni)
PX100 <- abs(2*fft(X100yeni)/1020)^2; FR = 0:1019/1020
plot(FR, PX100, type="o", xlab="frequency", ylab="periodogram")
```

Ek-4 6 Ocak 1995 – 8 Ocak 2015 Yılları Aralığındaki Haftalık Verilerin Modern Yöntemlerle Analizi R Kodları

```
# 1995-2015 Haftalık Verilerin SSA Yöntemiyle Analizi
```

```
setwd("E:/Tez/Tez IS-DR-2013-01/Veriler")
```

```
library(tseries)
```

```
library(fUnitRoots)
```

```
library(TSA)
```

```
library(Rssa)
```

```
# BIST100H2: 6 Ocak 1995 - 8 Ocak 2015 tarihleri arasındaki haftalık kapanış verileri
```

```
BIST100H2 <- read.csv("BIST100_1995_2015_Haftalik_Kapanis.csv", header = TRUE, sep =
",")
```

```
BIST100H2TL <- BIST100H2$KAPANIS # TL cinsinden haftalık kapanış verileri
```

```
# BIST100H2TL'yi zaman serilerine çevirmek için
```

```
BIST100H2TLZS <- ts(BIST100H2TL, start = c(1995,1), frequency = 52)
```

```
X100 <- BIST100H2TLZS # X100: değişkenin kısa tanımı
```

```
plot.ts(X100)
```

```
# 1nci aşama - ayrıştırma
```

```
X100S1 <- ssa(X100, L=52, svd.method = "eigen")
```

```
summary(X100S1)
```

```
# 1nci aşama - grupların görsel gösterimi
```

```
# Özdeğerlerin (eigenvalues) çizimi
```

```
plot(X100S1)
```

```
# Özvektörlerin (eigenvektors) çizimi
```

```
plot(X100S1, type="vectors", idx=1:6)
```

```
# Temel yeniden oluşturulan serilerin çizimi
```

```
plot(X100S1, type="series", groups=as.list(1:6))
```

```
# Trendin ayrıştırılması
```

```
res1 <- reconstruct(X100S1, groups = list(1))
```

```
trend <- res1$F1
```

```
plot.ts(X100)
```

```
lines(trend, col="red")
```



```

# Yüksek Frekanslı döngülerin ayrıştırılması
res.trend <- residuals(res1)
spec.pgram(res.trend, detrend = FALSE, log="no")

# 2nci asama ayrıştırma ve gösterim
# Özvektörlerin çizimi
X100S2 <- ssa(res.trend, L=490, svd.method = "nutrlan")
plot(X100S2)
# Özdeğerlerin çizimi
plot(X100S2, type="paired", idx = 1:12, plot.contrib = TRUE)
# İlk 50 degeri kullanarak w-korelasyon matrisinin hesaplanması.
w <- wcor(X100S2, groups = as.list(1:50))
plot(w)
# 2nci aşama ssa sürecinin özeti
summary(X100S2)

# Periyotların tahmini parestimate() fonksiyonu kullanılarak yapılır.
parestimate(X100S2, groups = list(1:12), method = "esprit-ls")$periods
parestimate(X100S2, groups = list(11:12), method = "pairs")

# 2nd Aşama yeniden oluşturma ve sonuçların gösterimi süreci
res2 <- reconstruct(X100S2, groups = list(1:10))
seasonality <- res2$F1
res <- residuals(res2)
# Ayrıştırma Yüksek Frekanslar
plot(res2, add.residuals = FALSE, col=c("black", "red"))
# Ardışık SSA'ın sonuçları
plot(res, base.series = res1)
# Mevsimsellikten Arındırılmış Seriler
plot(X100-seasonality, type='l')
s.env <- ssa(res^2, L=140)
rsd <- sqrt(reconstruct(s.env, groups=list(1))$F1)
plot(res, type='l'); lines(rsd, type='l'); lines(-rsd, type='l')

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Batu Varlık
Doğum Yeri ve Tarihi : Erzincan, 30/08/1967

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Yıldız Teknik Üniversitesi
Yüksek Lisans Öğrenimi : İstanbul Üniversitesi,
: Baldwin Wallace Üniversitesi
: Adnan Menderes Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Almanca
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Telekom Telekomünisasyon Dış Tic. Ltd. Şti. (1995-2002)
: Berşe Gıda Tarım ve Dış Tic. Ltd.Şti. (2005-2010)
: Gözen Gıda Tarım Sanayi ve Tic. Ltd.Şti. (2010-...)

İletişim

e-posta Adresi : bvarlik@gmail.com

Tarih : 1 Nisan 2016