T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
MUHASEBE VE FİNANSMAN BİLİM DALI

BULANIK MANTIKLA İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN PORTFÖY OPTİMİZASYONUNUN BOĞA VE AYI PİYASALARINDA KARŞILAŞTIRILMASI: BİST ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Hazırlayan
Saffet AKDAĞ

Niğde
Aralık, 2017

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI
MUHASEBE VE FİNANSMAN BİLİM DALI

BULANIK MANTIK İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN PORTFÖY OPTİMİZASYONUNUN BOĞA VE AYI PİYASALARINDA KARŞILAŞTIRILMASI: BİST ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Hazırlayan
Saffet AKDAĞ

Danışman
Doç.Dr. Ömer İSKENDEROĞLU

Niğde
Aralık, 2017

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum "Bulanık Mantık ile Gerçekleştirilen Portföy Optimizasyonunun Boğa ve Ayı Piyasalarında Karşılaştırılması: BİST Örneği" başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde tez yazım kılavuzuna uygun olarak tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 01.12.2017

Saffet AKDAĞ

JURİ ÜYELERİ İMZA SAYFASI

Doç.Dr. Ömer İSKENDEROĞLU danışmanlığında Saffet AKDAĞ tarafından hazırlanan " Bulanık Mantık ile Gerçekleştirilen Portföy Optimizasyonunun Boğa ve Ayı Piyasalarında Karşılaştırılması: BİST Örneği" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

01.12.2017

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Ömer İSKENDEROĞLU ………………………

Üye : Prof. Dr. Mutlu Başaran ÖZTÜRK ………………………

Üye : Prof. Dr. Serkan Yılmaz KANDIR ………………………

Üye : Doç. Dr. Erdinç KARADENİZ ………………………

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk Nuri BERKMAN ………………………

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulu'nun ………………… Tarih ve ……………………….. Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tarih: …./…./…….

Yrd.Doç.Dr. Hünkar GÜLER

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın her aşamasında destek olan, yardımlarını esirgemeyen, yol gösteren bilgi ve tecrübelerini bana aktaran, karşılaştığımız sorunlarda anında çözüm üreten, sadece bir danışman olarak değil bir arkadaş olarak yaklaşan ve en önemlisi etik değerlerin ne kadar önemli olduğunu her zaman hissettiren değerli Hocam Doç.Dr. Ömer İSKENDEROĞLU'na, tez izleme komitesinde bulunan ve bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren her daim destek olan ve motive eden değerli Hocam Prof.Dr. Mutlu Başaran ÖZTÜRK ve Yrd. Doç.Dr. Ayberk Nuri BERKMAN'a, tez jüri üyesi olarak tez savunmama katılan değerli Hocalarım Prof.Dr. Serkan Yılmaz KANDIR ve Doç.Dr. Erdinç KARADENİZ'e ve tüm eğitim öğretim hayatım boyunca emekleri olan bütün hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen ve bilim insanı olmanın sadece bilim üretmek değil aynı zamanda onu paylaşmak olduğunu hissettiren değerli Hocalarım Yrd. Doç.Dr. Ayben KOY ve Arş. Gör. Buğra BAĞCI'ya ayrıca teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve dualarını eksik etmeyen rahmetli annem ve babama, maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan kardeşlerime, sabır ve desteğiyle her daim yanımda olan ve yazım denetiminde katkılarını esirgemeyen eşime, hayatımıza neşe katarak stresli dönemlerimizde moral kaynağımız olan oğluma minnettarım.

Bu çalışma SOB 2017/03-DOKTEP No.lu proje kapsamında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Saffet AKDAĞ

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BULANIK MANTIK İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN PORTFÖY OPTİMİZASYONUNUN BOĞA VE AYI PİYASALARINDA KARŞILAŞTIRILMASI: BİST ÖRNEĞİ

AKDAĞ, Saffet
İşletme Anabilim Dalı
Muhasebe ve Finansman Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ömer İSKENDEROĞLU
Aralık 2017, 144 Sayfa

Portföy oluşturma süreci dinamik bir süreç olup piyasalardaki gelişmelerden etkilenmektedir. Dolayısıyla yatırımcılar piyasaların yönüne göre optimal portföyler oluşturmak isterler. Optimal portföylerin belirlenmesinde ise çeşitli modeller kullanılmaktadır. Markowitz (1952) çalışmasıyla literatüre kazandırılan ortalama varyans modeli, optimal portföylerin belirlenmesinde kullanılan ilk matematiksel model olarak ifade edilmektedir. Ancak büyük ölçekli portföylere uygulanmasının zorluğu nedeniyle de eleştirilmektedir. Bu çalışmada ortalama varyans modeline alternatif olarak geliştirilen Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile karar sürecindeki belirsizlik durumlarında sıkça kullanılan bulanık mantık modelinin birleştirilmesiyle oluşturulan bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacı boğa ve ayı piyasalarında portföy optimizasyonu sonuçlarının benzerlik gösterip göstermediğinin tespit edilmesidir. Çalışmada öncelikle BİST 100 endeksi üzerinde Markov rejim değişim modeli uygulanarak Ocak 2000 ile Aralık 2016 tarihleri arasında oluşan rejimler, boğa ve ayı piyasası olarak ifade edilmiştir. Buna göre çalışma döneminde iki farklı boğa ve iki farklı ayı piyasası belirlenmiştir. Daha sonra boğa ve ayı piyasalarında, borsada sürekli işlem gören 58 hisse senedinin aylık getirisi kullanılarak önerilen model ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre ayı piyasalarında, optimal portföyde yer alan menkul kıymet sayısı, portföy riski ve getirisi benzer özellikler gösterirken boğa piyasalarında farklılık arz etmektedir. Bu bağlamda çalışmadan elde edilen sonuçlara göre optimizasyon sonuçlarının boğa ve ayı piyasalarında benzer özellikler göstermediği ifade edilebilir.

Anahtar kelimeler: Portföy Optimizasyonu, Boğa ve Ayı Piyasaları, Markov Rejim Değişim Modeli, Bulanık Doğrusal Programlama Modeli.

ABSTRACT

PHD THESIS

COMPARISON OF PORTFOLIO OPTIMIZATION WITH FUZZY LOGIC IN BULL AND BEAR MARKETS: EVIDENCE FROM BIST

AKDAĞ, Saffet
Busines Adminisration
Accounting and Finance
Supervisor: Assoc.Prof. Ömer İSKENDEROĞLU
December 2017, 144 Pages.

The process of creating portfolio as a dynamic period, is influenced by developments in the market. Therefore, investors want to create optimal portfolios according to market direction. Various methods and models are used in determining optimal portfolios. The mean variance model, improved by Markowitz (1952), is the first mathematical model used to determine the optimal portfolios. However, the model is criticized due to is difficult application to large scale portfolios. In this study, fuzzy linear programming model as a combination of Konno Yamazaki linear programming model (developed as an alternative to the mean variance model) and fuzzy logic model (frequently used in the uncertainty situations of the decision process) is used. The aim of the study in this context is to determine whether or not portfolio optimization results are similar in bull and bear markets. In the study, the Markov regime change model is applied on the BIST 100 index and the regimes formed between January 2000 and December 2016 are expressed as bull and bear markets. Accordingly, two different bull and two different bear markets are identified during the study period. Then, portfolio optimization is carried out by means of fuzzy Konno Yamazaki linear programming model using monthly returns of 58 stocks in bull and bear markets. In the light of the optimization results obtained in the bear markets, the number of securities, portfolio risk and return in the optimal portfolio indicate similar features but differ in the bull markets. Thus, the optimization results do not indicate similar features in the bull and bear markets.

Keywords: Portfolio Optimization, Bull and Bear Markets, Markov Regime Change Model, Fuzzy Linear Programming Model.

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR LİSTESİ

ŞEKİLLER LİSTESİ

KISALTMALAR LİSTESİ

ADF : Augmented Dickey Fuller
AHP : Analitik Hiyerarşi Süreci
AIC : Akaike
AKM : Alt Kısmî Moment Modeli
AR : Auto Regressive
ARCH : Auto Regressive Conditionally Heteroskedastic
ARFIMA : Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average
BİST : Borsa İstanbul
BLM : Black Litterman Modeli
BSE : Bombay Stock Exchange
CVAR : Conditional Value At Risk
DAX : Deutscher Aktien Index
DF : Dickey Fuller
ESTAR : Exponantional Smooth Transition Auto Regressive
FAHP : Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
FIGARCH : Fractionally Integrated Generalized AutoRegressive Conditionally Heteroskedastic
FTSE : The Financial Times Stock Exchange
GABM : Genetik Algoritma Bazlı Modeller
GOM : Geometrik Ortalama Modeli
HSI : Hang Seng Index
İM : İndeks Modeller
KPSS : Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin
KY :Konno ve Yamazaki
LM : Lagrange Çarpanı
LR : Likelihood Ratio
LSTAR : Logistics Smooth Transition Auto Regressive
MM : Minimax Modeli
MS : Markov Switching
MSCI : Morgan Stanley Capital International
MSI : Markov Switching Intercept

MSM	: Markov Switching Mean
NYSE	: The New York Stock Exchange
OMSM	: Ortalama Mutlak Sapma Modeli
OVÇBM	: Ortalama Varyans Çarpıklık Basıklık Modeli
OVÇM	: Ortalama Varyans Çarpıklık Modeli
OVM	: Ortalama Varyans Modeli
PP	: Phillips ve Perron
SETAR	: Self-Exciting Thereshold Auto Regressive
STAR	: Smooth Transition Auto Regressive
S&P	: Standard & Poor's
TAR	: Thereshold Auto Regressive
TOPIX	: Tokyo Stock Exchange
TOPSIS	: The Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution
VAR	: Value At Risk
VBS	: Vercher, Bermudez & Segura
YV	: Yarı Varyans Modeli

EKLER LİSTESİ

GİRİŞ

Yatırım ortamı beraberinde birçok belirsizlikleri barındırmaktadır. Bu belirsizlikler yatırımcıların yatırım kararlarını yakından etkilemektedir. Çünkü belirsizlikler riske neden olmaktadır. Yatırımcılar açısından yatırım kararlarının bir ayağını beklenen getiri oluştururken bir ayağını risk oluşturmaktadır. Risk en genel tanımıyla beklenmedik olayların olma ihtimalidir. Finansal anlamda ise risk, beklenen getirilerdeki belirsizlik olarak ifade edilmektedir. Tarih öncesi çağlardan bu yana riskten kaçınmak için çeşitli görüşler, düşünceler ve teoriler geliştirilmeye çalışılmıştır. Yatırım kararları açısından ise riskin minimize edilmesi amacıyla çeşitli yatırım araçlarından oluşan bir portföy oluşturulması fikri, geleneksel portföy teorisi ile finans literatüründe yer bulmuştur. Teoriye göre portföyde yer alacak yatırım araçları ne kadar çok çeşitlendirilirse portföyün riski de o derece azalacaktır. Markowitz (1952) çalışmasıyla temelleri atılan modern portföy teorisinde, portföyü oluşturacak menkul kıymetlerin, menkul kıymetler arasındaki korelasyon derecesine göre çeşitlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Menkul kıymetler arasında korelasyon ne kadar düşükse, oluşturulacak portföyün riski de o derece düşük olacaktır. Matematiksel bir temele dayanan modern portföy teorisi, optimal portföy oluşturma sürecinde risk ölçütü olarak portföyün varyansını esas almış; bu nedenle kurulan model, ortalama varyans modeli olarak literatüre girmiştir.

Ortalama varyans modeli ile birlikte optimal portföyü belirlemek amacıyla birçok model geliştirilmiştir. Risk hesaplamalarına farklı bakış açısı ile yaklaşan ortalama mutlak sapma, yarı varyans ve alt kısmî moment, beklenen getiri hesaplamalarında farklı metotlar kullanan Black ve Litterman modeli, hisse senetleri ile makroekonomik faktörler arasında ilişki göstergesi betaları esas alan indeks modeller ve bulanık mantık gibi yapay zekâ uygulama bazlı optimizasyon modelleri ortalama varyans modeline alternatif olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada boğa ve ayı piyasalarında bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirip, sonuçların karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla öncelikle 2000 - 2016 yılları arasında BİST 100 endeksi aylık doğal logaritmik getirileri kullanılarak ilgili tarihler içerisindeki boğa ve ayı piyasaları Markov rejim değişim modeli ile tespit edilmiştir. İlgili dönemlerde Şubat 2000 - Şubat 2004 ve Aralık 2007 – Mayıs 2009 dönemleri sırasıyla birinci ve ikinci ayı piyasası, Mart 2004 – Kasım 2007 ve Haziran 2009 – Aralık 2016 dönemleri de sırasıyla birinci ve ikinci boğa piyasası olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu dönemlerde kesintisiz olarak işlem gören 58 hisse senedi ile her dönem için portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde risk ve beklenen getiri kavramları, portföy yönetim teorileri ve tarihsel süreci, aktif ve pasif portföy stratejileri, etkin piyasa kavramları ve portföy optimizasyon modelleri tanıtılarak ilgili modeller ortalama varyans modeli ile karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde ise literatür yer almaktadır. Literatür kısmı geniş tutularak iki alt başlığa ayrılmıştır. İlk kısımda bulanık mantık temelli portföy optimizasyonuna yönelik çalışmaların hangi dönemde, hangi ülkede, hangi yöntemle yapıldıkları ve sonuçları hakkında kısa bilgiler verilmiş; benzer şekilde ikinci kısımda da bulanık mantık haricindeki modellerle yapılan ve birden fazla modelin uygulandığı çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü ve son bölümde öncelikle uygulamada kullanılan yöntemler tanıtılmıştır. Buna göre ilk olarak zaman serilerinin durağan olup olmadığını tespit etmek amacıyla literatürde sıkça kullanılan geleneksel birim kök testleri ile yapısal kırılmalı birim kök testleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra piyasada oluşan rejimlerin belirlenmesi amacıyla literatürde kullanılan parametrik rejim değişim modelleri tanıtılmış ve özellikle uygulamaya konu olan Markov rejim değişim modeli kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Sonrasında bulanık mantık kavramı ve optmizasyonda kullanılan bulanık doğrusal programlama modeli hakkında bilgilere yer verilmiştir. Geleneksel ve yapısal kırılmalı birim kök testleri uygulanarak BİST 100 endeksi getirilerinin durağan olduğu tespit edilmiş ve Markov rejim değişim modeli uygulanmıştır. Markov rejim değişim modelinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda iki farklı boğa ve iki farklı ayı piyasası belirlenmiş ve belirlenen boğa ve ayı piyasaları için bulanık Konno Yamazaki doprusal programlama modeli ile optimal portföyler oluşturulmuştur. Son olarak analiz sonuçlarına dair bulgular özetlenerek, sonuç kısmında elde edilen bulgular literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırmalı olarak yorumlanmış ve hem yatırımcılar için hem de bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

1. BÖLÜM: PORTFÖY YÖNETİMİ

Portföy yönetimi başlığı altında oluşturulan bu bölüm beş alt bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde portföy, risk, getiri, portföyün beklenen getirisi ve riski kavramlarına değinilmiştir. İkinci bölümde ise geleneksel ve modern portföy teorilerinden ve portföy yönetiminin tarihsel gelişiminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde portföy yönetim süreci, aktif ve pasif portföy yönetim stratejileri üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde etkin piyasa kavramı ve etkin piyasa türlerinden bahsedilmiş, portföy optimizasyonuna değinilerek literatürde sıkça kullanılan portföy optimizasyonu modelleri açıklanmış ve bu modellerin karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1. Portföy, Risk ve Getiri Kavramları

Yatırımcılar tarafından kazanç sağlamak amacıyla hisse senedi, tahvil, altın gibi çeşitli yatırım araçlarının bir araya getirilmesiyle oluşan bileşkeye portföy denir. Bu manada portföy, geniş bir yelpazede yatırımcılara koruma ve fırsatlar sağlayan dengeli bir bileşkedir (Markowitz, 1959:3). Daha geniş anlamda tanımlanacak olursa portföy; belirli amaçları gerçekleştirmek isteyen yatırımcı gruplarının sahip olduğu ve birbirleriyle etkileşimi olan, kendine özgü ölçülebilir nitelikleri olan ve çeşitli yatırım araçlarından oluşan yeni bir varlıktır (Ceylan ve Korkmaz, 1998:8). Portföy oluşturmada amaç getiriyi maksimize ederken riski olabildiğince minimize etmektir. Portföy oluşturulurken bu iki temel kıstas çerçevesinde finansal varlık bileşenlerinin belirlenmesi gerekir. Bu aşamada hangi varlıkların hangi ağırlıkta portföye alınacağı cevap arayan bir sorudur. Dolayısıyla karar verme aşamasında ilgili yatırım araçlarının riski ve getirilerine bakılması gerekmektedir.

Risk kavramı çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. En genel anlamda risk bazı olumsuz olayların meydana gelme ihtimali olarak tanımlanır (Brigham ve Houston, 2003:232). Finans literatüründe ise risk, bir yatırımdan beklenen getiri oranındaki belirsizlik olarak tanımlanabilir (Reily ve Brown, 2011:12). Bir başka tanımda ise risk, finansal bir piyasada bir yatırımın sağlayacağı en düşük veya negatif getiri ihtimalidir (Brigham ve Houston, 2003:192).

Yatırımcılar, yatırım sürecinde çeşitli risklerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu risklerin bazılarından kaçınmak mümkünken bazılarından kaçınmak mümkün değildir. Bu bakımdan menkul kıymetler açısından finans yazınında riskler, sistematik riskler ve sistematik olmayan riskler olarak ikiye ayrılmaktadır.

Sistematik risk, bir başka ifade ile piyasa riski bütün menkul kıymetleri etkileyen ve uluslararası çeşitlendirme ile azaltılsa da tamamen giderilemeyen riski ifade eder. Sistematik olmayan risk ise sadece ilgili firmayı ya da menkul kıymeti etkileyen; ancak çeşitlendirme ile giderilebilen risk olarak ifade edilebilir (Brealey, Myers, ve Marcus 2001:251). Sistematik risk genel ekonomik, politik ve sosyal çevredeki değişmelerden kaynaklandığı için tüm menkul kıymetlerin getirilerindeki değişmeyi, dereceleri farklı olsa da aynı yönde etkileyen risklerdir (Amling, 1978:20; Ceylan ve Korkmaz, 1998:40). Mishkin (2007), çalışmasında finansal piyasalarda ani ve genellikle beklenmedik bir biçimde ortaya çıkıp bilgi akışını bozarak, fonların en verimli kâr olanaklarına aktarımını engelleyen risk olarak tanımlanan sistematik risk; kaynakları satın alma gücü riski, faiz oranı riski, politik risk ve kur riski olmak üzere dört başlığa ayrılmaktadır.

Satın alma gücü riski, fiyatlar genel seviyesindeki değişmeler nedeniyle satın alma gücünde meydana gelecek kayıpları ifade eden risktir. Faiz oranı riski ise piyasa faiz oranındaki beklenmedik değişimler nedeniyle olası kayıpları ifade eden risklerdir. Sistematik riskin bir başka türü olan politik risk, çeşitli politik kararlar veya uygulamalarla piyasalara yapılan müdahalelerden kaynaklanan risklerdir. Sistematik riskin son kaynağı olan kur riski ise, döviz kurlarında meydana gelen beklenmedik dalgalanmalar sonucu oluşabilecek muhtemel kayıpları ifade eden risktir.

Sistematik olmayan riskler, ilgili firmada ya da faaliyet gösterdiği sektörde meydana gelen değişimlerden kaynaklanan ve sadece o sektördeki firmaların ya da ilgili firmanın menkul kıymetlerindeki getirilerini etkileyen risklerdir (Konuralp, 2005:63). Firmaya ya da endüstriye özgü olan, çeşitlendirme yoluyla ortadan kaldırılabilen risk olarak tanımlanan sistematik olmayan riskin kaynakları; finansal risk, yönetim riski, iş ve endüstri riski olmak üzere üç başlıkta toplanmıştır (Van Horne ve Wachowicz, 2008:105).

Finansal risk, firma gelirlerinin borçlanma nedeniyle devamlılığını kaybederek faiz ve kâr payı ödemelerini gerçekleştirebilecek gelir seviyesinin altına düşme tehlikesidir (Ceylan ve Korkmaz, 1998:51). Sistematik olmayan risk türlerinden biri olan yönetim riski ise yatırım yapılan işletmenin, yönetiminin başarısızlığından kaynaklanan ve yöneticilerin hem bilgi hem de tecrübe eksikliğinden ortaya çıkan risklerdir (Madura, 2008:4). İş ve endüstri riski ise, işletmenin faaliyet gösterdiği iş ve endüstri kolundaki olumsuz gelişmeler nedeniyle karşılaşabilecekleri risklerdir (Bolak, 2001:172-173).

Portföy oluşturma sürecinin diğer önemli bir unsuru ise getiridir. Getiri, bir yatırımdan belirli bir dönem sonunda elde edilen geliri ifade etmektedir. Menkul kıymet yatırımlarında yatırımcılar, genellikle iki tür getiri elde ederler. İlk getiri, söz konusu menkul kıymetin piyasa fiyatındaki değişmelerden kaynaklanan ve sermaye kazancı olarak ifade edilen getiri; ikinci getiri ise kâr payı ve faiz gibi ödemelerden oluşan menkul kıymet getirileridir. Tek dönem getiri oranının hesaplanması, yatırımcının servetindeki artış hızını göstermesi bakımından önemlidir. Bu oran temel olarak yatırımın dönem sonundaki değeri ile dönem başındaki değeri arasındaki farkın, yatırım tutarına oranlanması ile elde edilir (Konuralp, 2005:55-56).

1.1.1. Beklenen Getiri Kavramı

Getiri kavramı, bir yatırım aracının dönem başı değeri ile dönem sonu değeri arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Bir portföyün getirisi ise portföydeki menkul kıymetlerin getirilerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Getiri ve portföy getirisi matematiksel olarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Getiri ve Portföy Getirisi

Getiri	**Portföy Getirisi**
$r = \frac{[(P_t - P_{t-1}) + D_t]}{P_{t-1}}$	$r_p = \sum_{i=1}^{n} w_i \ r_i$
r: Menkul kıymetin dönemlik getirisi, P_t: Menkul kıymetin dönem sonu fiyatı, P_{t-1}: Menkul kıymetin dönem başı fiyatı, D_t: Temettü ödemesi.	r_p : Portföyün getirisi, r_i : Her bir menkul kıymetin getirisi, w_i : Her bir menkul kıymetin portföydeki ağırlığı.

Kaynak: (Bodie vd., 2014:128; Karan, 2011:147).

Beklenen getiri kavramı, olası getirilerin olasılık dağılımının beklenen değeridir. Diğer bir ifadeyle çeşitli olasılıklardaki beklenen getirilerin ağırlıklı ortalamasıdır. Beklenen getiri hesaplamalarında yatırımcılar genellikle geçmiş bilgilerden hareket etmektedir. Muth (1961) çalışmasında geliştirilen rasyonel beklentiler teorisi beklenen getiri kavramına farklı bir bakış açısı getirmiştir. Teoride yatırımcıların beklenen getiriyi hesaplamaya yönelik modellemelerini kurarken sadece geçmiş bilgilerle hareket etmedikleri, içinde bulundukları döneme ait yeni bilgileri de modele dâhil ederek beklenen getiriyi oluşturdukları bu durumun da piyasanın şekillenmesine katkıda bulunduğu ifade edilmektedir (Paya, 1997:312). Portföyün beklenen getirisi de her bir menkul kıymetin beklenen getirilerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Beklenen getiri ve portföyün beklenen getirisi matematiksel olarak Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Beklenen Getiri ve Portföyün Beklenen Getirisi

Beklenen Getiri	**Portföyün Beklenen Getirisi**
$\bar{r} = \sum_{i=1}^{n} \bar{r}_i \, p_i$	$\bar{r}_p = \sum_{i=1}^{n} w_i \, \bar{r}_i$
$\bar{r}$: Beklenen getiri oranı $\bar{r}_i$: Her bir olasılığın beklenen getirisi p_i : Olasılık	$\bar{r}_p$: Portföyün beklenen getirisi w_i : Her bir menkul kıymetin portföy içerisindeki ağırlığı $\bar{r}_i$: Her bir menkul kıymetin beklenen getirisini ifade etmektedir

Kaynak: (Sharpe, vd., 1998:150-151)

1.1.2. Portföy Riski

Bir menkul kıymetin riski, o menkul kıymetin beklenen getirisinin ortalama getiriden sapma olasılığıdır. Bu sapmanın aşağı yönlü veya yukarı yönlü olması fark etmez. Bu risk genellikle varyans ile açıklanmaktadır.(Karan, 2011:135). Portföyün riski ise portföyü oluşturan menkul kıymetlerin risklerinin ortalamasından farklıdır. Portföyün riski, portföyün varyansıyla veya portföyün standart sapmasıyla ifade edilir. Uygulamalı çalışmalarda genellikle portföy riski olarak portföyün varyansı kullanılır. Portföyün varyansı, portföyün muhtemel getirilerinin, portföyün ortalama getirisinden sapmalarının beklenen değeridir (Ceylan ve Korkmaz, 1998:100). Varyans ve n sayıda menkul kıymetten oluşan bir portföyün varyansı matematiksel olarak Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Varyans ve Portföy Varyansı

Varyans	**Portföyün Varyansı**
$Varyans\ (\sigma^2) = \sum_{i=1}^{n} (r_i - \bar{r})^2 p_i$	$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i\, w_j\, \rho_{ij}\, \sigma_i \sigma_j$
r_i:Menkul kıymetin i dönemlik getirisi, $\bar{r}$: Menkul kıymetin beklenen getirisi, p_i: i döneminin olasılık yüzdesi.	σ_p^2: Portföyün varyansı, w_i : i'nci varlığın portföy içerisindeki ağırlığı, w_j : j'nci varlığın portföy içerisindeki ağırlığı, ρ_{ij} : Portföyü oluşturan menkul kıymetler arasındaki korelasyon derecesi, σ_i : i varlığının standart sapması, σ_j : j varlığının standart sapmasıdır.

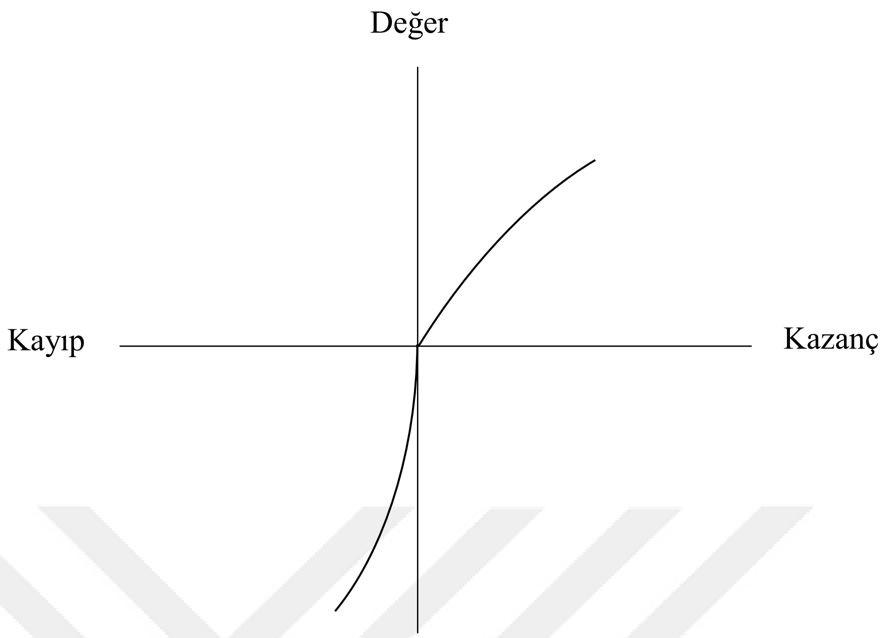
Kaynak: (Karan, 2011:135;Markowitz, 1952:83; Reily and Brown, 2011:216).

Modelden de anlaşılacağı üzere portföyün riski, portföyü oluşturan menkul kıymetlerin sayısı ve bu menkul kıymetler arasındaki korelasyonla yakından ilgilidir. Portföyü oluşturan menkul kıymetler artırıldıkça bir diğer ifade ile çeşitlendirme yapıldıkça portföyün riski azalacaktır. Portföyün riskini etkileyen diğer önemli bir kavram ise, portföyü oluşturan menkul kıymetler arasındaki korelasyondur. Korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini gösteren bir parametredir. Portföyün riski her ne kadar portföyü oluşturan menkul kıymetlerin riskiyle ilgili de olsa; risk düzeyinin temel belirleyicisi, portföyü oluşturan menkul kıymetler arasındaki korelasyonun derecesidir (Ertuna, 1998:55). Menkul kıymetler arasındaki korelasyon sıfır ya da negatif ise portföyün riski düşecektir. Menkul kıymetler arasındaki korelasyon tam negatif korelasyona ne kadar yakınsa çeşitlendirmenin beklenen faydası o kadar fazla olacaktır.

Portföy riskinin hesaplanmasında portföyün beklenen getirilerindeki çift yönlü sapmaları dikkate alan risk ölçüsü standart sapma ve varyans yerine sadece aşağı yönlü sapmaların dikkate alındığı risk ölçütlerinin kullanılması gerektiği birçok bilim adamı tarafından tartışma konusu olmuştur. Markowitz (1991) çalışmasında portföy riski hesaplamasında beklenen getirilerdeki çift yönlü sapma yerine sadece aşağı yönlü sapmaları dikkate alan yarı varyans risk ölçütünün kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Sortino ve Price (1994) çalışmasında, riskin tanımını beklenen getiriden aşağı ve yukarı yönlü sapmalar olarak kabul etmenin doğru bir yaklaşım olmadığı belirtilmiş ve risk tanımı beklenen getiriden aşağı yönde sapmalar olarak yeniden düzenlenmiştir. İlgili çalışmaya göre riski ölçerken standart sapma veya varyans değeriyle ölçmek yerine sadece aşağı yönde sapmaları dikkate alan bir ölçüt kullanmak daha uygundur (Yücel, 2016:152).

Yatırımcılar açısından optimal portföyün seçiminde portföyün riski önem taşımaktadır. Rasyonel bir yatırımcının aynı getiri düzeyinde riski düşük olan portföyü tercih edeceği ifade edilmektedir. Rasyonel seçim teorisinin mantığında bu kural yatmaktadır. Ancak bilimsel araştırmalarda yatırımcıların bu rasyonellikten sapmalar gösterebileceği de ifade edilmiştir. Bu anlamda literatürde yer alan en önemli çalışmalardan biri Kahneman ve Tversky'nin (1979) davranışsal finans alanındaki çalışmasıdır. Beklenti teorisi (prospect theory) olarak ifade edilen bu çalışmada, tahmin edilen risk ile algılanan riskin farklı olduğu bu nedenle yatırımcıların tercihlerinin rasyonel olmayabileceği ifade edilmiştir. Teori, yatırımcıların riskten kaçınma eğilimlerinin, kazanma eğilimlerine galip geldiğini ifade etmektedir. Teoriye göre, kayıpların yatırımcılara verdiği acı, kazancın verdiği tatminden çok daha fazladır. Yatırımcıların ekonomik alanda aldıkları kararları incelendiğinde, riskten kaçınma eğiliminin ağır bastığı, bu nedenle rasyonel olmayan kararlar alabildikleri belirtilmiştir. Yatırımcıların alacakları risk, beklenen getirinin çok altında kalsa bile riskten kaçınma eğiliminin ağır basacağı, yatırımcının risk almak istemeyeceği dolayısıyla büyük bir kazancı geri çevirebileceği ifade edilmiştir (Kahneman ve Tversky, 1979:263-264; Şentürk ve Fındık, 2014:135). Yatırımcıların risk algısı nedeniyle kayıp ve kazanç noktasında davranışlarını gösteren varsayımsal değer fonksiyonu Şekil 1'deki gibidir.

Şekil 1: Varsayımsal Değer Fonksiyonu



Kaynak: (Kahneman ve Tversky, 1979:279).

Şekil 1'de görüldüğü üzere değer fonksiyonu kazanç bölgesinde iken içbükey şekli almakta ve yatırımcıların daha fazla kazanç elde etmek için istekli olduğunu bu nedenle daha fazla risk alabileceklerini ifade etmektedir. Değer fonksiyonu kayıp bölgesinde iken dış bükey olmakta dolayısıyla yatırımcıların daha fazla kayba uğramamak için riskten kaçındıklarını ifade etmektedir. Sonuç olarak yatırımcılar kazançları arttıkça daha çok risk üstlenebilecekler, ancak kazançları azaldıkça riskten daha çok kaçacaklardır (Kahneman ve Tversky, 1979).

1.2. Portföy Yönetim Teorileri

Portföy yönetim teorileri, yatırımcıların portföyün beklenen getirisi ve portföyün risk düzeyine bakarak optimal portföyü seçeceğini var sayar. Ayrıca beklenen getiri ile risk arasında belli bir olasılık dağılımının olduğu varsayılır (Sharpe, 1999:25-27). Portföy teorileri, portföylerin performansının ölçülmesinde kriterler belirlediği için yatırımcılar açısından önemlidir (Fabozzi vd., 2006:49).

Portföy yönetim teorileri ikiye ayrılır. Birincisi geleneksel portföy teorisi olup basit çeşitlendirmeyi esas alır ve portföylerde yer alacak menkul kıymetlerin, rastgele çeşitlendirilerek portföyün riskinin azaltılabileceğini öne sürmektedir. İkincisi ise modern portföy teorisidir. Bu teori, portföy riskinin sadece rastgele çeşitlendirme ile azaltılamayacağını çeşitlendirme yapılırken menkul kıymetler arasındaki korelasyonun da dikkate alınarak çeşitlendirmenin yapılması gerektiğini savunmaktadır.

Tarihsel olarak portföy yönetimine bakıldığında geleneksel portföy yönetimi, 1900'lu yılların başlarında başlayıp 1952 yılında modern portföy yönetiminin başlangıcı olarak kabul edilen Markowitz' in "Portfolio Selection" çalışmasına kadar sürmüştür. Markowitz (1952) çalışmasıyla birlikte devam eden süreç modern portföy yönetimi olarak ifade edilmektedir (Korkmaz vd., 2013:95).

1.2.1. Geleneksel Portföy Teorisi

Portföy oluşturmada amaç, riskin dağıtılmasıdır. Geleneksel portföy yaklaşımının mantığında da varlık çeşitlendirmesi bulunmaktadır. Buna göre portföyü oluşturan varlıklar ne kadar çeşitlendirilirse, portföyün toplam riski sistematik riske o derece yaklaşacaktır. (Aksoy, 2014:57). Geleneksel portföy teorisine göre çeşitlendirme herhangi bir matematiksel ilişkiye bakılmadan yapılmaktadır. Portföy içerisindeki finansal varlıklar ne kadar çeşitlendirilirse portföyün risk düzeyi o ölçüde azalacaktır. Çünkü portföyde yer alacak finansal varlıkların getirilerinin, aynı yönde hareket etmeyeceği varsayılmaktadır (Francis ve Kim, 2013:1-5). Bu yönüyle geleneksel teori, yatırım araçlarının getirileri arasındaki ilişkiyi yok sayıp sadece çeşitlendirme odaklı bir teori olmuştur (Aksöyek ve Yalçıner, 2011:383).

Geleneksel portföy teorisi, portföyün performansı ile portföyde yer alacak menkul kıymet sayısı arasında lineer bir ilişki olduğunu, dolayısıyla yatırımcılar sadece portföyde yer alacak menkul kıymet sayısını fazlalaştırarak portföy riskinin azaltılabileceğini iddia etmektedir (Korkmaz vd., 2013:71). Teori, portföy oluşturulurken bilimsel teknikler uygulamak yerine, yatırımcıların sezgilerini ön plana çıkaran sübjektif bir yaklaşımı önermektedir (Ercan ve Ban, 2010:189). Bu yönüyle teori, portföy yönetimini bir bilim olarak değil, bir sanat olarak görmektedir. (Christy ve Clendedin, 1974:645).

Geleneksel yaklaşımın temel amacı risk ve getiriye ilişkin fayda tercihlerine bakarak yatırımcının faydasını maksimize etmektir (Bekçioğlu, 1984). Ancak bunun yolunun da yapılacak yatırımın risk düzeyinin minimum yapılmasından geçtiğini ileri sürmektedir. Riski minimum yapmanın yolunun ise birbiriyle ilgisi olmayan sektörlerden seçilen menkul kıymetlerle yapılacak iyi bir çeşitlendirmeden geçtiğini ileri sürmektedir (Kabakçı, 2013:18).

Geleneksel portföy teorisine göre portföy oluşturma süreci üç aşamadan oluşmaktadır: İlk aşama yatırımcıya ait bilgilerin toplanması, ikinci aşama portföyün amaçlarının belirlenmesi ve son aşama portföyde yer alacak menkul kıymetlerin seçimidir. Bu aşamalar içerisinde en önemlisi, menkul kıymetlerin seçim aşamasıdır. Çünkü teorinin temeli menkul kıymetlerin çeşitlendirilmesine dayanmaktadır. Geleneksel teoriye göre çeşitlendirme yapılırken dikkat edilmesi gereken konular: Farklı ürün veya hizmet üreten işletmelerin menkul kıymetlerinin portföye dâhil edilmesi, farklı sektördeki işletmelerin menkul kıymetlerinin portföye dâhil edilmesi, farklı bölge ya da ülkelerdeki işletmelerin menkul kıymetlerinin portföye dâhil edilmesidir (Civan, 2010:299-303).

Sonuç olarak geleneksel portföy teorisi, portföy içerisinde yer alan menkul kıymetlerin sayısının artırılması ilkesine dayanır. Portföye alınan menkul kıymet sayısı arttıkça portföy riskinin azalacağı varsayılmaktadır (Fisher ve Jordan, 1979:497). Yatırımcılar basit çeşitlendirme yaparak, diğer bir ifadeyle tesadüfî de olsa farklı menkul kıymetleri portföye dâhil ederek yatırım yaptıkları takdirde, menkul kıymetlerin birbirlerini telafi edici yöndeki fiyat hareketleri nedeniyle portföyün riski azalabilecektir. Teoriye göre 200 farklı menkul kıymetten oluşan bir portföy, 20 farklı menkul kıymetten oluşan bir portföye göre 10 kat daha iyi çeşitlendirilmiş bir portföy olarak kabul edilmektedir (Bolak, 2001:240). Geleneksel portföy yönetimine göre yapılan çeşitlendirme menkul kıymetlerin kendine özgü risklerini dağıtarak bir koruma sağlayacak, ancak piyasanın genelini etkileyen risklerden koruyamayacaktır. Çeşitlendirme, portföy yatırımlarının piyasadaki düşüşlerden etkilenmesinin önüne geçmese de, piyasadaki dalgalanmalar karşısında riskin dengelenmesine yardımcı olacaktır (Korkmaz vd., 2013:72).

1.2.2. Modern Portföy Teorisi

1950'lere kadar yatırımcılar, menkul kıymet yatırımlarında birtakım risklerle karşılaşabileceklerinin farkında olmalarına rağmen, bunun nasıl ölçüleceğine dair bir problemle karşı karşıya kalmışlardır (Konuralp, 2005:313). Roy'un (1952) portföy getirilerinin varyansı ile menkul kıymet getirilerinin varyansı arasındaki ilişki üzerine yaptığı çalışma, portföy riskinin ölçülmesi konusundaki ilk adım olmuştur (Roy, 1952:431-449). Ancak asıl gelişme Markowitz' in 1952 yılında yayınladığı "Portfolio Selection" çalışması ile olmuştur. Markowitz (1952) çalışmasında, portföyde yer alan menkul kıymetlerin belli bir risk seviyesinde maksimum getirisinin ya da belli bir getiri düzeyinde minimum risk düzeyinin nasıl sağlanabileceğine yönelik araştırma yaparak modern portföy teorisinin temelini oluşturmuştur (Francis ve Kim, 2013:122-123).

Markowitz (1952) çalışmasında bir portföyün beklenen getirisinin varyansının, portföyün riskini ölçmede iyi bir gösterge olacağını ifade etmiş ve portföyün varyansının ölçülmesine yönelik günümüzde de kullanılan modeli geliştirmiştir. Ortalama varyans modeli olarak ifade edilen bu model, portföy riskini ölçmekle kalmayıp, etkin bir çeşitlendirmenin nasıl olacağını da ortaya koymaktadır. Teoriye göre çeşitlendirme, menkul kıymetlerin getirileri arasındaki korelasyona göre yapılmalıdır ve portföyün riskinin düşürülmesi için portföye alınacak menkul kıymetler seçilirken, getirileri arasındaki korelasyon dereceleri düşük olanlar tercih edilmelidir (Markowitz, 1952:89).

Markowitz (1959) çalışmasında, uygun bir çeşitlendirme ile portföyün riskinin ayrı ayrı menkul kıymetlerin riskleri toplamından daha düşük olacağını ifade etmiştir. Uygun bir çeşitlendirme ile sistematik olmayan riskin azaltılabileceği, hatta sıfıra kadar düşürülebileceğini belirtmektedir (Markowitz, 1959:5).

Markowitz (1952) tarafından geliştirilen modern portföy teorisi aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır (Ceylan ve Korkmaz, 1998:149; Elton ve Gruber, 1995:46-47; Fama, 1970:383-416; Konuralp, 2005:315; Markowitz, 1959; Pamela ve Fabozzi, 2010:429; Reilly ve Brown, 2011:211):

- Sermaye piyasaları güçlü formda etkindir.
- Tam rekabet piyasası şartları hâkimdir.
- Yatırımcılar rasyoneldir.
- Yatırımcılar yatırım kararı verirken risk ve beklenen getiriye bakarak karar verirler.
- Yatırımcılar özdeş zaman ufkuna sahiptirler.
- Yatırımcılar tek dönem beklenen faydalarını maksimize etmek isterler ve fayda eğrileri azalan marjinal faydaya uygundur.
- Menkul kıymetlerin getirisi ile riski arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur.
- Portföyde yer alan menkul kıymetlerin getirileri normal dağılım göstermektedir.
- Menkul kıymet getirileri arasındaki korelasyonlar zaman içerisinde değişmez.
- Vergi ve işlem maliyetleri yoktur.

Pozitif teoriler, yatırımcıların davranışlarına bakarak modellerini oluştururken; normatif teoriler, yatırımcıların nasıl davranması gerektiğine yönelik model oluştururlar. Bu yönüyle bakıldığında modern portföy teorisi, optimal portföyü oluşturma amacıyla yatırımcının takip etmesi gereken normal davranışın nasıl olması gerektiğini belirttiğinden normatif bir teoridir (Fabozzi ve Markowitz, 2002:7).

Markowitz'in ortalama varyans modeli, yatırım portföylerinin çeşitlendirilmesi fikrinin ilk matematiksel denklemidir. Bu modelde menkul kıymetlerin tek tek riskleri yatırımcı için önemli değildir, önemli olan menkul kıymetlerin portföyün riski üzerindeki etkisidir (Rubinstein, 2006:105).

Markowitz (1952), çalışmasında portföy yönetimine üç temel katkı sağlamıştır: Bu katkılardan ilki, aynı getiri düzeyine sahip portföylerden riski düşük olan portföyün, aynı risk düzeyine sahip portföylerden ise en yüksek getiriye sahip olan portföyün tercih edilebilmesidir. Böylelikle yatırımcı kendi risk düzeyine göre, beklenen getirisi en yüksek ve risk düzeyinin en düşük olduğunu gösteren etkin sınır üzerindeki bir portföy bileşimini tercih edebilecektir. İkinci katkısı ise, iyi bir çeşitlendirme ile portföyün riskinin, portföyde yer alan menkul kıymetlerin riskinden daha düşük olması diğer bir ifade ile riskin minimize edilebilmesidir. Bu nedenle yüksek korelasyona sahip menkul kıymetlere portföy içerisinde yer verilmemelidir. Üçüncü katkı ise her risk düzeyi için maksimum getiriyi veren portföy bileşimlerini gösteren etkin sınırın kuadratik programlamayla ortaya çıkarılabilmesidir (Aksöyek ve Yalçıner, 2011:384; Ceylan ve Korkmaz, 1998:143-144; Sharpe, 1963:277-293).

Markowitz' in ortalama varyans modeli, hedeflenen beklenen getiri seviyesini karşılayacak minimum varyanslı portföyü bulmayı amaçlar. Modelin amaç fonksiyonu portföyün varyansını minimize etmektir (Ulucan, 2004:18).

Ortalama varyans modelinde diğer önemli bir nokta ise riski minimize etmek için varlık getirileri arasındaki korelasyonların dikkate alınmasıdır. Portföy optimizasyonunda, korelasyon katsayılarının çok önemli bir yeri vardır ve pratikte de uygulanabilirliği yüksektir. Ayrıca portföye alınacak varlıklar arasındaki korelasyon, portföyün riski üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Pafka ve Kondor, 2004).

1.2.3. Portföy Yönetimi Teorilerinin Tarihsel Gelişim Süreci

Portföy yönetim teorilerinin temelinde çeşitlendirme yatmaktadır. Çeşitlendirmede amaç ise riskin yönetilmesi diğer bir ifade ile riskin minimize edilmesidir. Konu bu bağlamda değerlendirildiğinde portföy yönetimi teorilerinin başlangıcının risk yönetimi ile ilgili olduğu söylenebilir. Risk yönetimi anlayışı tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Milattan önce 3200 yıllarında Mezopotamya bölgesinde yer alan, belirsizliklerde ya da riskli işlerde danışılan ve alternatifler arasından uygun öneriler sunan Asipu adı verilen grup, bu manada risk yönetiminin bilinen ilk örnekleri olarak bilinmektedir. Milattan önce 4. yüzyılda Plato tarafından yazılan "Phaedon" veya "Ruh Üzerine" adıyla da bilinen eserle birlikte kişinin bu dünyada yaptıkları neticesinde öbür dünyada karşılaşabileceği riskler anlatılmış ve bu risklerin yönetilmesi amacıyla bu dünyada ve öbür dünyada minimum risk maksimum fayda sağlayacak şekilde bir yaşam sürülmesi anlatılmıştır. Daha sonra bunun üzerine birçok din ve bilim adamları da konuyla ilgili makaleler yazmıştır. Milattan sonra 4. yüzyılda, Kuzey Afrika'da yaşayan ve Hristiyan bir din adamı olan Arnobius, yazdığı "Adversus Nationes" adlı kitabında Hristiyan olmak ile ateist olmak arasındaki farkın risk ve faydasına yönelik bir matris oluşturarak risk yönetimine farklı bir bakış getirmiştir. Arbuthnot (1692) ise bir olayın farklı olası sonuçlarının olasılıklarının hesaplanabileceğini öne sürerek, riskin ölçülmesinin önünü açmıştır. Riskli seçim durumlarında olasılık ve fayda arasındaki dengeyi inceleyen Hutchinson (1723), risk ve beklenen getiri arasındaki ilişkinin farkındalığını sağlamıştır(Covello ve Mumpower, 1985:103). Bernoulli (1738) riski tanımlayarak, riskin ölçülmesi amacıyla matematiksel modeller geliştirmiştir. Fisher (1906) çalışmasında varlık getirilerinin olasılık dağılımı tanımlanarak, beklenen getiri kavramı literatüre dâhil edilmiştir (Constantinides ve Malliaris, 1995:1).

1930'lu yıllara gelindiğinde riskin çeşitlendirme ile azaltılabileceğine yönelik çalışmalara rastlanmaktadır. Bu doğrultuda Hicks (1935) çalışmasında olasılık teoremi olarak kabul edilen ve bir rassal değişkenin uzun vadeli kararlılığını ifade eden büyük sayılar yasasına atıfta bulunarak, yatırımcıların sermayesini küçük parçalara bölerek yatırım çeşitlendirmesi yaptığında riskleri yayabileceği ve böylelikle büyük risklere karşı kendini koruyabileceği iddia edilmiştir. Marschak (1938) çalışmasında ise, portföy oluşturmanın, belirsizliklerin olduğu bir ortamda önem kazandığı ifade edilerek, beklenen getiri ve risk olasılıklarının önemi vurgulanmıştır. Bu doğrultuda ilk defa yatırımcıların portföy oluşturma sürecindeki kararları, ortalama varyans ile kayıtsızlık eğrileri üzerinden ifade edilmiştir. Aynı dönemde risklerin yok edilip edilemeyeceğine ilişkin gerçekleştirilen kuramsal tartışmalar Williams (1938) çalışması ile önem kazanmıştır. İlgili çalışmada yeterince farklı menkul kıymetlere yatırım yapıldığında risklerin neredeyse tamamen ortadan kaldırılabileceği ifade edilmiştir. Çünkü yeterli çeşitlendirme yapıldığında bazı menkul kıymetlerin kayıpları, diğer menkul kıymetlerin kazançlarıyla telafi edilecek; böylelikle beklenen getiri portföydeki bütün menkul kıymetlerin ortalama getirisi kadar olacaktır. Bu durumda net risk sıfır olacaktır (Markowitz, 1999:13).

Portföyde çeşitlendirmenin nasıl yapılması gerektiği konusundaki Leavens (1945) çalışması, çeşitlendirmeye farklı bir bakış açısı getirmiştir. Çalışmada çeşitlendirmenin sadece aynı endüstrideki firmaların menkul kıymetleri ile yapılması durumunda, o endüstriyi etkileyecek olumsuz bir durum karşısında çeşitlendirmenin yatırımcıyı riske karşı koruyamayacağı ifade edilmiştir. Hatta farklı endüstrilere ait firmaların menkul kıymetleri ile yapılan bir çeşitlendirmenin bile tüm endüstrileri etkileyecek olumsuz bir olay karşısında yatırımcıyı koruyamayacağı ifade edilerek, çeşitlendirmede kovaryans ilişkisinin farkındalığını sağlamıştır (Markowitz, 1999:14). Roy'un (1952) portföy getirilerinin varyansı ile menkul kıymet getirilerinin varyansı arasındaki ilişki üzerine yaptığı çalışma, portföy riskinin ölçülmesi konusundaki ilk adım olmuştur.

Portföy yönetimi anlamında bir dönüm noktası olarak ifade edilen Markowitz (1952) çalışmasıyla, bu zaman dilimine kadar geçerli olan yalın çeşitlendirmeye dayalı geleneksel portföy teorisi yerine, nitelikli çeşitlendirmeye dayalı modern portföy teorisinin temelleri atılmıştır. Çeşitlendirmenin portföyde yer alacak menkul kıymetler arasındaki korelasyona göre yapılması gerektiği ifade edilerek ilk defa bu amaçla matematiksel bir model önerilmiştir. Markowitz (1952) çalışmasından sonraki sürece bakıldığında, portföy yönetimi alanındaki gelişmelerin odak noktasında Markowitz modeli olarak da tabir edilen ortalama varyans modeli baz alınarak ortaya konan farklılıklar yatmaktadır.

Portföyde yer alan varlıkların belli bir oranda risk taşıdıkları bu zamana kadarki çalışmalarda ifade edilmiştir. Tobin (1958) çalışmasında ilk defa risksiz varlık kavramından söz edilmiş ve yatırımcıların portföylerinde risksiz varlıklara da yatırım yapılabileceği vurgulanmıştır. Bu kapsamda etkin portföy iki kısma ayrılarak ilk kısım riskli varlıklardan oluşurken, ikinci kısım risksiz varlık olarak nitelendirilen nakit varlıklardan oluşmaktadır (İskenderoğlu ve Karadeniz, 2011:238). Hicks (1965) çalışmasında ise Tobin (1958) çalışmasına atıfta bulunularak nakit içeren portföylerin ortalaması ile standart sapması arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ve portföylerde nakit varlıkların olması gerekliliği teyit edilmiştir (Markowitz, 1999:11). Aynı dönemde risksiz varlıkların ortalama varyans modeline dâhil edilmesi tartışmaları başlamıştır. Sharpe (1963 ve 1964), Lintner (1965) ve Mossin (1966) çalışmalarında, yatırımcıların riskli menkul kıymetlerden oluşan portföyün yüzdesine karar vermesi, kısa vadeli satışlar, borç alma ve ödünç verme durumu, işlem maliyetleri ve vergiler gibi kısıtlar altında, etkin sınırdan hareketle risksiz finansal varlık ortalama varyans modeline ilave edilerek sermaye varlıkları fiyatlandırma modeli geliştirilmiştir. Model hem sermaye piyasalarında menkul kıymetlerin denge fiyatının nasıl oluştuğunu açıklar hem de menkul kıymetin fiyatının ne olması gerektiği yönünde tahminde bulunmayı da sağlar.

Ortalama varyans modeline göre portföyde yer alan menkul kıymet sayısı arttıkça beklenen getiri ve riskin hesaplanması zorlaşmaktadır. Sharpe (1963) çalışmasında geliştirilen tekli indeks modeli ve King (1966) çalışmasında temelleri atılan Perold (1984) çalışmasında ise geliştirilen çoklu endeks modeli ile portföylerin beklenen getiri ve riskinin hesaplanmasında karşılaşılan bu zorluklar giderilmiştir. Fama ve French (1993 ve 1996) çalışmalarında ise çoklu endeks modeline, düşük ve yüksek piyasa değeri/defter değeri oranına sahip menkul kıymetlerin getirileri arasındaki farklar ile küçük ve büyük menkul kıymetlerin getirileri arasındaki farklar olmak üzere iki yeni kriter ilave edilmiştir.

Mevcut bilgilerin, menkul kıymet fiyatlarına yansıması olarak ifade edilen piyasa etkinliği kavramı Fama (1970) çalışmasıyla literatüre kazandırılmıştır. Fama (1970) çalışmasında piyasaları; zayıf formda, yarı güçlü formda ve güçlü formda etkin diye sınıflandırılmıştır. Piyasanın türünün menkul kıymet fiyatları üzerinde etkili olacağını ve kurulacak modellerde bu etkenlerin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmiştir.

1970'li yılların ortalarına kadar risk hesaplamalarında sistematik olmayan risklerden sadece piyasa riski modellere konu olmuş, sistematik olmayan diğer riskler kurulan modellerde göz ardı edilmiştir. Ross (1976) çalışmasında sermaye varlıkları fiyatlandırma modeli bir aşama daha ileri götürülmüş, pazar riski yanında diğer sistematik risk unsurları da modele dâhil edilmiştir. Bu doğrultuda menkul kıymet getirilerinin sistematik risk unsurları ile doğrusal ilişki içinde olduğu öne sürülerek arbitraj fiyatlama teorisi geliştirilmiştir. Bu model de sermaye varlıkları fiyatlandırma modeli gibi menkul kıymet fiyatlarının oluşumunu açıklamaya yarayan bir modeldir.

1980'li yıllardan günümüze kadar, portföy optimizasyonuna yönelik yapılan çalışmalara bakıldığında, kuramsal model oluşturacak kadar teoride yer almadığı görülmektedir. Ancak bu dönemdeki çalışmalar, portföy yönetim süreci anlamında tarihsel süreçte önem arz eden çalışmalar olarak literatürde yer almaktadır. Bu çalışmaların da büyük çoğunluğu ortalama varyans modelini temel almış ve modelde tespit edilen eksikler ve modele yönelik eleştiriler sonucu geliştirilen alternatif model önerilerini içermektedir. Bu bağlamdaki ilk çalışmalardan biri Konno ve Yamazaki (1991) çalışmasıdır. İlgili çalışmada ortalama varyans modelinin, risk ölçütü olarak varyansı kullanmasının ve kuadratik programlama gerektirmesinin, büyük portföylerin getiri ve riskinin hesaplanmasını zorlaştırdığı ifade edilmektedir. Bu nedenle çalışmada kuadratik programlama yerine doğrusal programlamanın ve risk ölçütü olarak da mutlak sapmanın kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Hisse senedi getirilerinin normal dağılım sergilemediği durumlarda ortalama varyans modelinin etkin portföyleri belirlemede yetersiz kalacağını ifade eden Lai'nin (1991) çalışmasında ise basıklık ve çarpıklık momentlerinin ortalama varyans modeline dâhil edilmesi gerekliliği ifade edilmiş, böylece ortalama varyans basıklık ve çarpıklık modelleri geliştirilmiştir.

1990'lı yıllara kadar portföy riski hesaplamalarında beklenen getirideki aşağı ve yukarı yönlü sapmalar dikkate alınırken Markowitz (1991) ile Sortino ve Price (1994) çalışmalarıyla birlikte portföy riskinin hesaplanmasında yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Bu çalışmalarda, portföyün beklenen getirilerindeki çift yönlü sapmaları dikkate alan risk hesaplamaları yerine, sadece aşağı yönlü sapmaları esas alan bir risk hesaplamasının daha doğru olacağı belirtilmiştir. Risk hesaplamasındaki bu yeni yaklaşımın, Rom ve Ferguson (1993) çalışmasında post modern portföy teorisinin doğuşuna neden olduğu iddia edilmiştir.

İki binli yıllara doğru gelindiğinde ortalama varyans modelinde kullanılan kuadratik programlama modelinin yerine alternatif programlama modelleri sunulmuştur. Bu bağlamda Young (1998) çalışmasında, ortalama varyans dikkate alınarak oluşturulan kuadratik programlama modelinin neden olduğu karmaşıklığı gidermek için, doğrusal programlama modeli kullanan minimax optimizasyon modeli önerilmiştir. Ogryczak (2000) çalışmasında ise çok kriterli doğrusal programlama modelini literatüre kazandırmıştır. Rockafellar ve Uryasev (2000 ve 2002) çalışmalarında 21. yüzyılın ilk on yılı boyunca yeni bir risk ölçütü olarak kullanılan koşullu riske maruz değer CVAR (Conditional Value At Risk) modellerinin geliştirilmesine önayak olmuşlardır. Mansini, Ogryczak ve Speranza (2003) çalışmalarında ise ilk defa risk ve güvenlik temelli doğrusal programlama portföy optimizasyon modellerine yönelik anket çalışması yapılmıştır.

İki binli yıllardan itibaren gerek bilgisayar programlarının gelişmesi gerekse finansal piyasaların hareketliliğinin ve belirsizliklerinin artması sonucu, mühendislik uygulamalarında kullanılan genetik algoritma bazlı modeller portföy yönetimi kapsamında çalışmalara konu olmuştur. Bulanık mantık, yapay sinir ağları, yerel arama optimizasyonu, sürü temelli optimizasyonlar, yapay zekâ yöntemleri gibi birçok genetik algoritma bazlı modeller, portföy optimizasyonu içerisinde kullanılmaya başlanmıştır.

Portföy yönetimi alanındaki gelişmelere bakıldığında ortaya konan birçok model ve teori, oluşturulduğu dönemden sonraki dönemlerde bilim dünyası tarafından tam olarak genel kabul görüp değerlendirilmektedir. Bunun en güzel örneği modern portföy yönetiminin kurucusu olarak ifade edilen Harry Markowitz' in, 1952 yılındaki çalışması baz alınarak 1990 yılında Nobel ödülüne layık görülmüştür. James Tobin'in 1958 yılında geliştirdiği Tobin modeli ise kendisine 1983 yılında Nobel ödülünü kazandırmıştır. Benzer şekilde William Sharpe'ın 1964 yılında literatüre kazandırdığı sermaye varlıkları fiyatlandırma modeline yönelik çalışmaları, kendisine 1990 yılında Nobel ödülü getirmiştir. Eugene F. Fama'nın finans literatürüne kazandırdığı 1970'deki etkin piyasa, 1993 ve 1996 yıllarında Kenneth R. French ile geliştirilen çoklu endeks modeli, kendisine 2013 yılında Nobel ödülünü getirmiştir. Örneklerden de görüleceği üzere finans bilimindeki bir gelişme bilim çevreleri tarafından çeyrek asır sonra literatürde hak ettiği yeri almakta ve ödüllendirilmektedir. Yakın zamanın Nobel ödüllerine bakıldığında ise nispeten bu süreç kısalmaktadır.

1.3. Portföy Yönetim Stratejileri

Portföy yönetiminin en önemli fonksiyonu, getiri ile risk arasında bir ilişki kurmaktır (Civan, 2010:317). Portföy yöneticileri de yatırımcıların getiri beklentileri ve riske bakış açıları doğrultusunda, getiriyi artırıp riski düşürecek portföyleri oluşturmaya çalışmaktadırlar (Aksoy, 2014:185). Finansal piyasalarda gerçekleştirilen portföy yatırımlarında, portföy yöneticilerinin uygulayabilecekleri, birbirine alternatif iki temel portföy yönetim stratejisi bulunmaktadır (Kabakçı, 2013:50). Bunlar, pasif portföy yönetim stratejileri ile aktif portföy yönetim stratejileridir (Karan, 2011:543).

Pasif yönetim stratejisi, önceden belirlenmiş standartlar çerçevesinde oluşturulan ve menkul kıymetlerin portföy içerisinde uzun süreli olarak tutulduğu stratejidir (Reilly ve Brown, 2011:653). Aktif yönetim stratejisi ise portföy içerisindeki menkul kıymetlerin devamı olarak, kontrol edildiği ve gerekli görüldüğü takdirde portföy içerisindeki menkul kıymetlerde değişikliklerin yapıldığı dinamik bir stratejidir. Bu yönüyle bakıldığında yatırım süreçleri daha çok aktif stratejiler ile ilgili bir süreçtir (Jacobs ve Levy, 2006:45-55).

1.3.1. Pasif Portföy Yönetimi Stratejileri

Pasif portföy yönetim stratejisi genel olarak satın al ve elde tut stratejisidir. Bu yöntemde portföy kurulduktan sonra uzun süre elde tutulur ve gerekli görüldüğü taktirde küçük düzeltmeler yapılır (Karan, 2011:543). Bu tür stratejilerin uygulanabilmesi için fiyat değişimlerinin çok fazla olmadığı etkin piyasaların var olması gerekmektedir. Alıcı ve satıcının çok sayıda olduğu, bilgiye tam olarak herkesin aynı anda ulaşabildiği piyasalarda aşırı ve hızlı fiyat değişimleri ile karşılaşılmayacağından, etkin piyasalarda uygulanabilir bir stratejidir (Aksoy, 2014:185). Eğer bir piyasa etkin ise bütün menkul kıymetler gerçek değerleriyle fiyatlanmıştır. Dolayısıyla bu piyasalarda ucuz veya pahalı menkul kıymet bulmak mümkün değildir. Bu nedenle yatırımcıların endekse yatırım yapmasıda önerilmektedir. Böyle bir piyasada sık sık menkul kıymet değiştirmek akılcı olmayacaktır. Çünkü yatırımcılar, menkul kıymetlerin beklenen getirisi ve riski ile ilgili olarak aynı beklentilere sahiptir. Bu nedenle çok sık alım ve satım yapmanın yatırımcılar açısından bir faydası olmayacaktır (Karan, 2011:544).

Pasif portföy stratejilerinin dört temel özelliği vardır: Düşük devir hızı, düşük işlem maliyetleri, düşük yönetim giderleri ve düşük firma riski (Demirel, 2012:170). Bu tür stratejilerde temel varsayım, yatırımcının sadece risk ve getiri konusunda hassas davranmasıdır. Vergi ve likidite gibi benzer etkiler yatırımcılar tarafından göz ardı edilmektedir (Karan 2011:546).

1.3.2. Aktif Portföy Yönetimi Stratejileri

Aktif portföy stratejilerinde temel amaç, portföyün belirli menkul kıymetlerin getiri ve riskine dayalı olarak oluşturulması ve bunlara bağlı risklerin üstlenilmesidir. Portföyün aktif olarak yönetilmesindeki düşünce, pasif portföy yönetimindeki düşüncenin tersine; pazarın etkin olmadığı, yani menkul kıymetlerin gerçek fiyatlarıyla piyasada işlem görmediği, dolayısıyla satın almak için ucuz, satmak için pahalı menkul kıymetler bulunabileceği düşüncesine dayanmaktadır (Kabakçı, 2013:51-52).

Dinamik stratejiler olarak da kabul edilen aktif stratejiler, portföyün yapısını piyasa şartlarına göre devamlı şekilde değiştirme olarak açıklanabilir (Bekçi, 2001:57). Aktif portföy yönetim stratejilerinin üç önemli aşaması ve beş temel özelliği vardır. Bu aşamalar; varlık tahsisi, piyasa zamanlaması ve portföye alınabilecek menkul kıymet seçimidir (Karan, 2011:551).Varlık tahsisinde amaç toplam portföyün içinde yer alacak bono benzeri para piyasası araçları, hisse senedi ve tahvil gibi temel varlık gruplarının ağırlıklarının belirlenmesidir. Varlık seçimi kararı müşterinin riske karşı duyarlılığına; hisse senedi, tahvil ve para piyasası araçlarına yönelik risk ve getiri tahminlerine dayanmaktadır (Karan, 2011:551). Piyasa zamanlaması ise portföye ne zaman hisse senedi alınacağı veya portföyden ne zaman hisse senedi satılacağına karar verilmesini ifade eder. Menkul kıymet seçimi ise düşük fiyatlandırılmış menkul kıymetlerin bulunmasını ve bu menkul kıymetlerin portföye alınmasını içerir. Başarılı bir menkul kıymet seçimi, hem portföydeki aşırı fiyatlanmış menkul kıymetleri satma hem de düşük fiyatlanmış menkul kıymetleri portföye alma kararını kapsamaktadır (Ceylan ve Korkmaz, 1998:198). Beş temel özellik ise yüksek devir hızı, yüksek işlem maliyeti, yüksek yönetim giderleri, belirli düzeyde firma riski ve yüksek betalı (β) senetlerdir (Demirel, 2012:171).

1.4. Etkin Piyasa ve Portföy Optimizasyonu

Bu bölümde ilk olarak etkin piyasanın tanımı ve türlerine değinilmiştir. Daha sonra portföy optimizasyonu kavramı başlığı altında, literatürde en çok kullanılan portföy optimizasyonu modellerinden bahsedilmiş ve bu modellerin karşılaştırılması yapılmıştır.

1.4.1. Etkin Piyasa

Etkin piyasa teorisinin temeli ilk kez Bachelier (1900) tarafından ifade edilen fiyatların rassal değişimi kavramına dayanmaktadır. Rassal değişim kavramı, menkul kıymet fiyatlarının geçmişteki fiyatları tamamen yansıttığını, hisse senetlerinin fiyatlarının önceden tahmin edilebilecek bir yol izlemediğini, tamamen rastlantısal olduğunu ve geçmiş dönemdeki fiyat değişmelerinden bağımsız olarak herhangi bir anda aşağı veya yukarı doğru hareket ettiğini öne sürer (Konuralp, 2005:304). Etkin piyasa terimi ise ilk olarak Fama (1961) çalışmasında, piyasanın yeni bilgilere hızlı bir biçimde uyumu, şeklinde tanımlanmıştır. Fama (1961) tarafından geliştirilen etkin piyasa teorisine göre piyasaya ulaşan bilgiler, menkul kıymet fiyatlarına hemen ve doğru olarak yansımaktadır. Etkin piyasa teorisinin temel varsayımı, mevcut tüm bilgilerin menkul kıymetlerin fiyatlarına yansımasıdır (Fama, 1970:383).

Etkin piyasa teorisine göre piyasa etkinliği üç şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan ilki faaliyet etkinliğidir, fon arz ve talep edenlerin minimum maliyetle işlem yapabileceğini ifade etmektedir. İkincisi ise kaynak etkinliği olup, piyasada kaynakların optimum dağılımını ifade eder. Sonuncusu ise etkin piyasalar teorisindeki etkin kavramının karşılığı olan bilgi etkinliği olup fiyatların mevcut tüm bilgileri yansıttığını ifade etmektedir (Karan, 2011:276).

Etkin piyasa teorisinde pazarın işleyişi ve yatırımcının davranışları aşağıdaki varsayımlara dayandırılmıştır (Fama, 1970:380-385; Thaler ve Russell, 1987:409):

- Piyasada çok sayıda alıcı ve satıcı bulunmaktadır. Tam rekabet koşulları altında çalışan bir piyasada, hiçbir alıcı ve satıcı tek başına piyasayı etkileyecek güce ve paya sahip değildir.
- Her türlü bilgi, herhangi bir engel olmaksızın ve maliyet içermeksizin tüm yatırımcılara aynı anda ulaşabilmektedir.
- Elde edilen bilgiler, tüm yatırımcılar tarafından aynı şekilde yorumlanmaktadır.
- Piyasalarla ilgili düzenlemeler, piyasanın istikrarını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir.
- İşlem ve komisyon maliyeti yoktur.
- Yatırımcılar rasyonel kişilerdir ve seçimlerindeki temel güdü, yüksek getiri düşük risktir.
- Tüm finansal varlıklar bölünebilir niteliktedir.

Etkin piyasa teorisindeki piyasa etkinliği, menkul kıymet fiyatlarına yansıyan bilgi kümesine göre üçe ayrılmaktadır (Fama, 1970:385). Zayıf formda etkinlik; geçmiş menkul kıymet fiyatlarındaki değişim, getiri oranları ve işlem hacimleri gibi piyasa tarafından üretilmiş tüm bilgilerin, mevcut menkul kıymet fiyatları tarafından yansıtıldığını ve bu bilgileri kullanarak piyasa getirisi üzerinde bir getirinin elde edilemeyeceğini ifade etmektedir (Reily ve Brown, 2011:178). Yarı güçlü formda etkinlik; menkul kıymetler ile ilgili olarak, sadece geçmişteki fiyat hareketlerinin değil, aynı zamanda temettü ilanları, yatırım kararları gibi kamuya açıklanmış mevcut tüm bilgilerin de menkul kıymet fiyatlarına yansıdığını iddia etmektedir (Arnold, 2013:549). Yarı güçlü formda etkinlik, aynı zamanda zayıf formda etkinliği de kapsar. Çünkü geçmiş dönem hisse senedi fiyatları, getiri oranları ve işlem hacmi gibi zayıf form etkinliği tarafından düşünülen tüm piyasa bilgileri halka açıktır (Reily and Brown, 2011:178). Güçlü formda etkinlik; menkul kıymetlerle ilgili sadece geçmiş ve halka açık bilgilerin değil, halka açık olmayan özel bilgilerin de menkul kıymet fiyat hareketlerine yansıdığını ifade etmektedir. Burada özellikle içerden öğrenenlere odaklanmakta, işletmeyle ilgili her türlü bilgiye ulaşabilecek bazı ayrıcalıklı kişilerin bile piyasa getirisi üzerinde bir getiri elde edemeyecekleri iddia edilmektedir. Çünkü bu formda her türlü bilgi menkul kıymet fiyatlarına yansımıştır (Arnold, 2013:549). Güçlü formda etkinlik hem zayıf formda etkinliği hem de yarı güçlü formda etkinliği kapsar. Bu formda bütün bilgiler fiyatlara yansımıştır ve yatırımcılar arasında bilgi farklılığı yoktur (Reily and Brown, 2011:179). Dolayısıyla yatırımcılar açısından güçlü formda etkin bir piyasayı yenmek mümkün değildir.

Borsa İstanbul'da yer alan endeksler üzerinde etkin piyasa testine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan Ergül (2009) çalışmasında endekslerin piyasa etkinliği kapsamında zayıf formda etkin olduğu ifade edilirken, Atakan (2008) çalışmasında ise endekslerin piyasa etkinliği kapsamında etkin olmadığı ifade edilmiştir.

1.4.2. Portföy Optimizasyonu

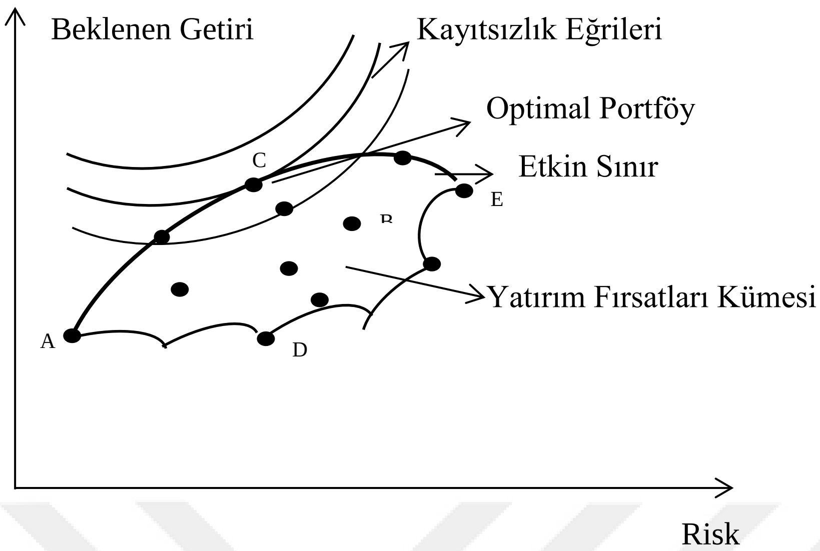
Markowitz (1952) çalışmasına göre portföy optimizasyonu, bir portföyde yer alacak menkul kıymetlerin portföy içindeki ağırlıklarını değiştirerek etkin sınıra yaklaştırma sürecine verilen addır. Portföy içindeki menkul kıymetlerin ağırlıkları değiştirildikçe o portföyün beklenen getirisi ve riski değişecektir. Belirli bir beklenen getiri seviyesi için daha düşük riske maruz portföylere veya belirli bir risk düzeyi için daha yüksek beklenen getiriyi veren portföylere yaklaşılması mümkün olduğu sürece optimizasyon süreci devam eder (Best, 2010:139-163).

Yatırımcılar yatırım yapmak üzere çeşitli menkul kıymetlerden, farklı ağırlıklarda, farklı getiri ve riske sahip sonsuz sayıda portföy oluşturabilirler. Oluşturulacak bu portföylere, yatırım fırsatları kümesi denilmektedir (Pike ve Bill, 2009:221-222). Yatırımcılar, yatırım yapabilecekleri bütün portföy bileşimlerini ifade eden yatırım fırsatları kümesi içerisinden bir tercih yapabilirler. Yatırımcıların tercihlerinde portföyün riski ve beklenen getirisi belirleyici olmaktadır. Yatırımcılar aynı risk düzeyinde maksimum getiriyi sunan ya da aynı getiri düzeyinden minimum riske sahip portföyü tercih edeceklerdir. Bu tür portföylere ise etkin portföy denilmektedir (Reill ve Brown, 2011:228). Etkin portföylerin birleştirilmesiyle de etkin sınır oluşmaktadır. Optimal portföyler ise etkin sınır üzerindeki portföylerdir. Dolayısıyla yatırımcılar portföy tercihlerini etkin sınırda yer alan portföyler üzerinden belirleyeceklerdir (Francis ve Archer, 1979:7). Optimal portföy tercihinin yapılabilmesi için yatırımcılar tarafından bireysel kayıtsızlık eğrileri ile etkin sınırın birlikte değerlendirilmesi gerekir (Aksoy, 2014:66). Kayıtsızlık eğrileri, her bir yatırımcının farklı risk düzeyleri için bekledikleri getirileri ifade eden ve her bir noktada aynı faydayı sağlayan eğrilerdir.

Yatırımcıların risk ve getiri tercihlerini gösteren kayıtsızlık eğrileri ile maksimum getiri ve minimum riske göre oluşturulmuş etkin sınırların birbirlerine eşit olduğu noktaya optimal portföy denilmektedir (Mayo, 2007:170-171).

Yatırım fırsatları kümesini, etkin portföyü, etkin sınırı, kayıtsızlık eğrilerini ve optimal portföyü bir arada gösteren Şekil 2 aşağıdaki gibidir (Fabozzi vd., 2007:44):

Şekil 2: Kayıtsızlık Eğrileri ve Etkin Sınır Altında Yatırım Fırsatları Kümesi ve Optimal Portföy



Şekil 2'de yatırım fırsatları kümesinden hareketle etkin sınır, kalın çizgi ile gösterilen A ve E noktaları arasındaki yayı ifade etmektedir. Yatırımcılar risk tercihlerine göre etkin sınır üzerindeki bir noktada portföy tercihlerini belirleyebilirler. Etkin sınır altındaki bir noktada portföy oluşturmak rasyonel bir davranış olmayacaktır. Çünkü bu durumda yatırımcılar aynı risk düzeyinde daha düşük getiri ya da aynı getiri düzeyinde daha yüksek riske katlanmak durumunda kalacaklardır. Riskten kaçınmak isteyen yatırımcılar A noktasına doğru tercihlerini yoğunlaştırırken, riski dikkate almayan yatırımcılar tercihlerini E noktasına doğru kaydıracaklardır. Kayıtsızlık eğrilerine göre karar verirken normal şartlarda solda ve en üstte yer alan kayıtsızlık eğrisinin seçilmesi gerekmektedir. Ancak ilgili kayıtsızlık eğrisi etkin sınırı kesmediğinden yatırım yapılabilecek bir portföy bileşimi olmayacaktır. Sağda ve en alttaki kayıtsızlık eğrisi ise aynı risk seviyesinde daha düşük bir getiri sunduğundan ve etkin sınırı iki noktadan kesmesinden dolayı analiz dışı tutulmaktadır. Ortadaki kayıtsızlık eğrisi ise etkin sınırı teğet geçtiğinden ve tek bir noktada etkin sınırla kesiştiğinden, C noktasındaki portföy bileşimi tercih edilecektir. Bu nokta aynı zamanda optimal portföyü ifade etmektedir.

1.4.2.1. Portföy Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon modeli; amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlardan oluşur. Oluşturulan model, kısıtları gözeterek amaç fonksiyonunu en uygun duruma getiren karar değişkenlerinin neler olduğunu tespit etmeye çalışır. Amaç fonksiyonu, modelde minimum ya da maksimum yapılmaya çalışılan fonksiyonu ifade eder. Sistemin performansını etkileyen ve kontrol altında tutulan değişkenlere karar değişkenleri denir. Kısıtlar ise karar değişkenlerinin alabileceği değerlerin sınırlarını ifade eder (Winston, 2004:2).

Bir optimizasyon modeli üç aşamalık süreçle oluşturulur: İlk aşama, karar değişkenlerinin belirlenmesi ve tanımlanması aşamasıdır. Modelin oluşturulmasındaki en önemli adımdır. Tasarım değişkenleri olarak da ifade edilen karar değişkenlerinin iyi bir araştırma sonucu belirlenmesi gerekir. Karar değişkenleri bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak ikiye ayrılmaktadır. İkinci aşama amaç fonksiyonunun belirlenmesi ve tanımlanması aşamasıdır. Modelde optimize edilmeye çalışılan fonksiyon olup problemin amacına göre maksimum veya minimum yapılmaya çalışılmaktadır. Karar değişkenlerine doğrudan bağlı olmayan amaç fonksiyonu skaler bir fonksiyondur. Üçüncü ve son aşama ise kısıtların belirlenmesi ve tanımlanması aşamasıdır. Karar değişkenlerinin sonsuz değerler veya bazı değerler almaması için birtakım kısıtların modele dâhil edilmesi gereklidir. Problemin türüne göre değişim gösteren kısıtlar tanımlanmalı ve modele dâhil edilmelidir (Arora, 1997:2-3).

Bir portföy oluşturulurken amaç, minimum risk düzeyinde maksimum getiriyi veya maksimum getiri düzeyinde minimum risk düzeyini sunacak portföyü oluşturmaktır. Bu aşamada karşılaşılan en büyük zorluk portföyde hangi menkul kıymetlerin, hangi ağırlıklar ile bulunması gerektiğidir. Portföy optimizasyon modelleri de bu sorulara cevap aramaktadır. Ortalama varyans modeli, ortalama mutlak sapma modeli, ortalama varyans çarpıklık modeli, ortalama varyans çarpıklık basıklık modeli, yarı varyans ve alt kısmî moment modeli, indeks modelleri, geometrik ortalama modeli, Black ve Litterman modeli, minimax portföy modeli, genetik algoritma bazlı modeller, portföy optimizasyonunda en çok kullanılan modellerdir.

Portföy optimizasyon modelleri; getiriye ağırlık veren, riske ağırlık veren ve risk ve getiriye aynı derecede ağırlık veren modeller olarak Tablo 4’te özetlenmiştir

Tablo 4: Portföy Optimizasyonunda Kullanılan Başlıca Modeller

Risk/Getiri Ağırlığı	Portföy Optimizasyon Modelleri
Portföy Riskine Ağırlık Veren Modeller	Ortalama Varyans Modeli
	Ortalama Mutlak Sapma Modeli
	Ortalama Varyans Çarpıklık Modeli
	Ortalama Varyans Çarpıklık Basıklık Modeli
	Yarı Varyans Modeli
	Alt Kısmî Moment Modeli
Portföy Getirisine Ağırlık Veren Modeller	İndeks Modelleri
	Geometrik Ortalama Modeli
	Black ve Litterman Modeli
Portföyün Riskine ve Getirisine Aynı Ağırlığı Veren Modeller	Minimax Portföy Modeli
	Genetik Algoritma Bazlı Modeller

Kaynak: (Pekkaya, 2011:48 ve tarafımızca düzenlenmiştir).

Tablo 4 incelendiğinde ortalama varyans, ortalama mutlak sapma, ortalama varyans çarpıklık ve basıklık, yarı varyans ve alt kısmî moment modellerinin daha çok riske ağırlık verdiği; indeks modeller, geometrik ortalama modeli ve Black ve Litterman modelinin portföy getirisine daha çok ağırlık verdiği görülmektedir.

1.4.2.1.1. Ortalama Varyans Modeli

Markowitz’ in (1952) ortalama varyans modeli, yatırımların çeşitlendirilmesi fikrinin ilk matematiksel tasarımı olarak bilinmektedir. Markowitz (1952) çalışmasında, menkul kıymetlerin tek tek risklerinin yatırımcı için önemli olmadığı, önemli olanın menkul kıymetlerin tüm portföyün riskine olan katkısı olduğu ifade edilmektedir (Rubinstein, 2002:1042). Markowitz tarafından geliştirilen modelde, portföyde yer alan menkul kıymetlerin, belirli bir risk seviyesinde mümkün olan maksimum getiri oranının nasıl sağlanacağını ifade etmektedir (İskenderoğlu ve Karadeniz, 2011:237).

Markowitz modelinde üç temel kısıt vardır. Bunlardan ilki hedeflenen beklenen getiri düzeyinin karşılanmasıdır. İkincisi karar değişkenlerinin negatif olmama kısıtıdır. Üçüncü kısıt ise portföyde bulunan varlıkların ağırlıklarının toplamının bir olmasıdır. Kısıtlar ve bu kısıtların yer aldığı ortalama varyans modeli Tablo 5 ‘te verilmiştir. (Ulucan, 2004:18-19):

Tablo 5: Ortalama Varyans Modeli

Beklenen Getiri Düzeyi Gösteren Kısıt	**Portföydeki Varlıların Ağırlıklarının 1 Olması Kısıtı**	**Ortalama Varyans Modeli**
$\sum_{i=1}^{N} w_i \; \mu_i \geq R$	$\sum_{i=1}^{N} w_i = 1$	$Min. \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} w_i \, w_j \sigma_{ij}$
N: Mevcut varlık sayısı, w_i: (karar değişkeni) i varlığının portföy içerisindeki ağırlığı, μ_i: i varlığının beklenen getirisi, R: hedeflenen beklenen getiri düzeyi.	w_i: (karar değişkeni) i varlığının portföy içerisindeki ağırlığı,	N: Mevcut varlık sayısı, w_i: (karar değişkeni) i varlığının portföy içerisindeki ağırlığı, w_j: (karar değişkeni) j varlığının portföy içerisindeki ağırlığı, σ_{ij}: i ve j varlıkları arasındaki kovaryans değeri.

Ortalama varyans modeli yatırımcıya belirli kısıtlar altında, risk veya getiri öncelikli tercihine göre uygun çözümler sunmaktadır (Pekkaya, 2011:31). Ortalama varyans modeli teorik ve pratik anlamda çokça tartışılmıştır. İlgili modelin gelişmesine katkıda bulunan uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Feldstein (1969), Porter ve Gaumnitz (1972), Chamberlain ve Rothschild (1982), Roll (1992), Britten Jones (1999), Steinbach (2001), Zhou ve Yin (2003), Clarke vd., (2006), Levy ve Roll (2010), Björk vd., (2014), Cong ve Oosterlee (2016) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalarda ortalama varyans modelini test ederek modelin başarısı sınanmıştır. Çalışmalarda genel olarak ortalama varyans modelinin etkin portföylerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir model olduğu ifade edilmiştir.

1.4.2.1.2. Ortalama Mutlak Sapma Modeli

Konno ve Yamazaki (1991) tarafından geliştirilen bir modeldir. Konno ve Yamazaki (1991) çalışmasında, ortalama varyans portföy optimizasyon modelinin kuadratik programlama gerektirdiği, kuadratik programlamanın ise kovaryans matrislerinin oluşturulmasında büyük zorluklara sebep olduğu ve özellikle büyük ölçekli portföylere uygulanmasının zor olduğu iddia edilmiştir. Konno ve Yamazaki (1991) çalışmasında alternatif olarak ortalama mutlak sapma modeli önerilmiştir (İskenderoğlu ve Karadeniz, 2011:239).

Ortalama mutlak sapma modeli ile ortalama varyans modeli birbirlerine benzemelerine karşın, risk hesaplaması noktasında farklılık gösterirler. Markowitz (1952), optimizasyon çözümünde risk hesabı olarak kuadratik programlamayı tercih ederken; Konno ve Yamazaki (1991) doğrusal programlamayı tercih ederek, ortalama varyans modelinin karşılaştığı birçok zorluğun üstesinden geldiğini ileri sürmektedirler. Konno ve Yamazaki (1991), ortalama varyans modelinin, kuadratik programlamayla optimal çözüme ulaşmanın zor olduğunu ve yatırımcıların çoğunun risk ölçümünde standart sapma yerine mutlak sapmayı tercih ettiklerini belirtmişlerdir (Konno ve Yamazaki, 1991: 521). Risk ve beklenen getirilerin normal dağıldığı varsayımı altında ortalama mutlak sapma modeli, Tablo 6'da verilmiştir (Wang ve Xia, 2002:7; Fabozzi vd., 2007:56).

Tablo 6: Ortalama Mutlak Sapma Modeli

Portföy Riski	**Beklenen Getiri**
$w\ (x) = E\ (\left\vert \sum_{j=1}^{N} \mu_j w_j - E(\sum_{j=1}^{N} \mu_j w_j) \right\vert)$	$(R_P) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\ \sigma_P$
E: Parantez içindeki rastgele değişkenin beklenen değeri, μ_j : j varlığının getiri oranı, w_j : j varlığının portföy içerisindeki ağırlığı, $w\ (x)$: Riski temsil eden ve minimize edilecek olan getirilerin ortalama mutlak sapma fonksiyonu.	σ_p : Portföyün standart sapması, (R_P): Portföyün beklenen getirisi.

Tablo 6'da görüleceği üzere varlık getirilerinin normal dağılması durumunda ortalama varyans modeli ve ortalama mutlak sapma modeli yaklaşımının eşdeğer olduğu görülmektedir (Fabozzi vd., 2007:56). Ortalama mutlak sapma modeli ortalama varyans modeline göre aşağıdaki avantajlara sahiptir (Konno ve Yamazaki, 1991:524-525):

- Ortalama mutlak sapma modelinde, modeli oluşturmak için varyans kovaryans matrisi hesaplanmak zorunda değildir.
- Yeni veri eklendiğinde modeli güncellemek daha kolaydır.

- Doğrusal bir programı çözmek kuadratik programa göre daha kolaydır. Ayrıca modele dâhil edilen menkul kıymet sayısı ne olursa olsun, fonksiyonel kısıtların sayısı sabit kalır, böylece binden fazla varlık için bile optimizasyon gerçekleştirilebilir.
- Optimal bir çözüm $x^* = (x_1^*, \dots \dots . x_n^*)$ eğer $\mu_j = \infty$ (μ_j : Yatırım yapılabilecek maksimum tutar), j=1,…..,n ise en fazla 2T+2 pozitif bileşen içerir. Burada n adet varlık içerisinde bir optimal portföyün, hangi genişlikte olursa olsun, en fazla 2T+2 kısıttan oluşacağı anlamına gelir. Böylelikle ortalama mutlak sapma modelinde, ortalama varyans modeline göre daha az kısıt kullanılmaktadır.
- Portföydeki varlık sayısı kısıtlanmak istendiğinde, T kontrol değişkeni olarak kullanılabilir.

Modelin bu avantajlarının yanında, varyans kovaryans matrisini görmezden gelmesinin önemli tahmin risklerine yol açtığı eleştirileri yapılmaktadır (Kardiyen, 2008:342). Ayrıca varlık getirilerinin normal dağılmadığı durumlarda yöntemin etkinliğine dair bir bilgi bulunmamaktadır.

Ortalama mutlak sapma modelinin gelişmesine katkıda bulunan uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Konno vd., (1993), Simaan (1997), Konno ve Wljayanayak (1999), Chang (2005), Qin vd., (2011), Zhang ve Zhang (2014), Li vd., (2016) çalışmaları verilebilir. Modelin başarısını test eden ilgili çalışmalar, genel olarak olumlu sonuç vermiş ve bu çalışmalarda ortalama mutlak sapma modelinin, ortalama varyans modeline alternatif bir model olabileceği ifade edilmiştir.

Birçok çalışmada ortalama mutlak sapma modeli, Konno Yamazaki (KY) doğrusal programlama modeli olarak kullanılmaktadır. Ortalama mutlak sapma modeli bu çalışmanın da uygulama kısmını oluşturduğundan, bundan sonraki süreçte kavram birliği oluşturmak adına, “Konno Yamazaki (KY) doğrusal programlama modeli” olarak kullanılacaktır.

1.4.2.1.3. Ortalama Varyans Çarpıklık Modeli

Momentler, rassal değişkenlerin özelliklerini karakterize ederler. Literatürde en yaygın kullanılan dört adet moment vardır. Gözlem değerlerinin sıfır etrafındaki birinci momenti aritmetik ortalamayı, aritmetik ortalama etrafındaki ikinci moment varyansı, üçüncü moment çarpıklığı, dördüncü moment ise basıklığı temsil eder (Üstün, 2007:19).

Bir nicel serinin aritmetik ortalamaya göre üçüncü dereceden momenti, çarpıklığın ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Çarpıklık, nicel serilerdeki birim değerlerinin küçük değerler etrafında mı, aritmetik ortalama etrafında mı, yoksa büyük değerlerin etrafında mı toplanacağını gösterir. Seriler, çarpıklık durumuna göre sağa çarpık, sola çarpık veya simetrik olabilmektedir. Serinin birim değerleri, küçük değerlerde toplanırsa sağa çarpık seri (risk için tercih nedeni), büyük değerlerde toplanırsa sola çarpık seri (getiri için tercih nedeni) söz konusudur (Pekkaya, 2011:63).

Markowitz' in (1952) portföy optimizasyonunu temel alan çalışmasından bu yana yapılan birçok çalışmada performans ölçütü olarak, getiri dağılımlarının ilk iki momenti (aritmetik ortalama ve varyans) kullanılmıştır. Yalnızca ilk iki momente dayalı uygulamalar, sadece getirinin normal dağılımlarının ortalamaya göre simetrik olduğu durumlarda kullanılabilir (Üstün, 2007:19). Portföy optimizasyon problemlerinde, üçüncü dereceden momentin kullanılması, Samuelson (1958) tarafından önerilmiştir. Ancak önerilen bu koşul çok sayıda varlık içeren portföylerdeki hesaplama güçlüğünden dolayı 1990'lı yıllara kadar kullanılamamıştır. Üçüncü dereceden momentin ortalama varyans modeline ilavesiyle ortalama varyans çarpıklık modeli oluşturulmuştur. Ortalama varyans çarpıklık modelinde üç temel hedef bulunmaktadır. Bunlar ortalamanın maksimize edilmesi, çarpıklığın maksimize edilmesi ve varyansın diğer bir ifade ile riskin minimize edilmesidir. Ortalama ve varyansın sabit kaldığı durumlarda, yatırımcıların yüksek çarpıklığın varlığıyla ilgilendiği varsayılmaktadır (Wang ve Xia, 2002:8-9). Lai (1991) tarafından geliştirilen ortalama varyans çarpıklık modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtlar Tablo 7'de verilmiştir:

Tablo 7: Ortalama Varyans Çarpıklık Modeli

Max R(x) Ortlamanın Maksimize Edilmesi	$\max \sum_{i=1}^{n} (\bar{R}_i - \bar{r}\,)\, x_i$
$Max\ S(x)$ Çarpıklığın Maksimize Edilmesi	$\mathrm{Max} \sum_{i=1}^{n} S_i^3 w_i^3 + 3 \sum_{i=1}^{n} \left[\sum_{j=1, i\neq j}^{n} S_{ij} w_i^2 w_j + \sum_{j=1, i\neq j}^{n} S_{ji} w_i w_j^2 \right]$
$Min\ V(x)$ Varyansın Minimize Edilmesi	$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} w_i w_j$
Kısıtlar	$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \quad x_i \geq 0 \ \ (i = 1, \dots \dots \dots, n)$
R(x) : 1. Moment aritmetik ortalama, S(x) : 3. Moment çarpıklık, V(x) : 2. Moment varyans, σ_{ij}: i ve j varlıkları arasındaki kovaryansı (i=1,….,n ; j=1,….,n), w_i : i menkul kıymetinin portföydeki oranı (0≤ x_i ≤1) (i=1,...,n) , w_j : j menkul kıymetinin portföydeki oranı (0≤ x_j ≤1) (j=1,...,n), n : Menkul kıymet sayısı (i= 1,.... ,n), $\bar{R}_i$: i varlığının ortalama getirisi, $\bar{r}$: Risksiz varlığın ortalama getirisi, S_i^3: i. menkul kıymetin üçüncü merkezi momenti (çarpıklığı), S_{ij}, S_{ji}: i. ve j. menkul kıymetler için merkezi bileşik moment (çarpıklık),	

Ortalama varyans çarpıklık modelinin gelişmesine katkıda bulunan uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Konno vd., (1993), Konno ve Suzuki (1995), Atheyde ve Flores (2004), Briec vd., (2007), Bhattacharyya vd., (2011), Kim vd., (2014), Zhao vd., (2015), Brocas vd., (2016) çalışmaları verilebilir. Modelin başarısını test eden ilgili çalışmalar, modeli ortalama varyans modeli başta olmak üzere diğer optimizasyon modelleri ile karşılaştırmalı olarak sınamış ve oluşturulan optimal portföylerin performansının daha başarılı olduğunu ifade edilmiştir.

1.4.2.1.4. Ortalama Varyans Çarpıklık Basıklık Modeli

Bir nicel serinin aritmetik ortalamaya göre dördüncü dereceden momenti, basıklığın bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Basıklık varyans yerine de kullanılabilecek bir risk ölçümüdür. Portföy seçimi probleminin dört boyutlu probleme dönüşmesi, hem çok boyutlu etkin yüzeyi tanımlamanın zorluğundan hem de problemi oldukça zor bir yapıya dönüştürdüğünden, dördüncü moment olan basıklık momenti birçok araştırmacı tarafından uzun yıllardır ihmal edilmiştir. Ortalama varyans çarpıklık basıklık modeli ile beklenen değer ve çarpıklık maksimize edilirken varyans ve basıklığın minimize edilmesi, portföy seçiminin birbiriyle çelişen amaç fonksiyonlarından oluşmasına neden olmaktadır (Kemalbay, 2008:109). Oysa dağılım normal değilse ya da fayda fonksiyonu karesel fonksiyondan daha yüksekse veya daha yüksek momentler yatırımcının kararıyla ilgiliyse önemlidir ve ihmal edilmemesi gerekir (Borandağ, 2013:93). Nitekim Samuelson (1958) çalışmasında yüksek momentlerin portföy seçiminde yatırımcıların kararları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Aynı zamanda basıklık uç olayların olasılığını yansıttığı için, basıklık arttıkça uç olayların olma olasılığı da artacaktır. Bu nedenle, ortalama varyans çarpıklık basıklık modeli ile portföy seçimi oluşturmanın önemli olduğu ifade edilmektedir. Basıklığın da ortalama varyans çarpıklık modeline eklenmesiyle elde edilen ortalama varyans çarpıklık basıklık modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtları Tablo 8'de verilmiştir (Lai vd., 2006:292):

Tablo 8: Ortalama Varyans Çarpıklık Basıklık Modeli

Max R(x) Ortlamanın Maksimize Edilmesi	$\max \sum_{i=1}^{n} (\bar{R}_i - \bar{r}\,)\, w_i$
Max S(x) **Çarpıklığın Maksimize Edilmesi**	$\text{Max} \sum_{i=1}^{n} S_i^3 w_i^3 + 3 \sum_{i=1}^{n} \left[\sum_{j=1, i \neq j}^{n} S_{ij} w_i^2 w_j + \sum_{j=1, i \neq j}^{n} S_{ji} w_i w_j^2 \right]$
Min V(x) **Varyansın Minimize Edilmesi**	$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} w_i w_j$
Min K(x) **Basıklığın Minimize Edilmesi**	$min \sum_{i=1}^{n} w_i^4 K_i^4 + 4 \sum_{i=1}^{n} \left[\sum_{j=1\ i \neq j}^{n} w_i^3 w_j K_{iiij} + \sum_{j=1,\ i \neq j}^{n} w_i w_j^3 K_{ijjj} \right] + 6 \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i^2 w_j^2 K_{iijj}$
Kısıtlar	$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \ \ (i = 1, \dots \dots \dots, n)$

R(x) : 1. Moment aritmetik ortalama,
V(x) : 2. Moment varyans,
S(x) : 3. Moment çarpıklık (Skewness),
$K(x)$: 4. Moment basıklık (Kurtosis),
σ_{ij}: i ve j varlıkları arasındaki kovaryansı (i=1,….,n ; j=1,….,n),
w_i : i menkul kıymetinin portföydeki oranı (0≤ x_i ≤1) (i=1,...,n),
w_j : j menkul kıymetinin portföydeki oranı (0≤ x_j ≤1) (j=1,...,n),
n : Menkul kıymet sayısı (i= 1,.... ,n),
$\bar{R}_i$: i varlığının ortalama getirisi,
$\bar{r}$: Risksiz varlığın ortalama getirisi,
S_i^3: i. menkul kıymetin üçüncü merkezi momenti (çarpıklığı),
S_{ij}, S_{ji}: i. ve j. menkul kıymetler için merkezi bileşik moment (çarpıklık),
K_i^4: i. Menkul kıymetin dördüncü merkezi momenti (basıklık),
K_{iiij}, K_{ijjj}, K_{iijj} : i. ve j. menkul kıymetler için merkezi bileşik moment (basıklık).

Ortalama varyans çarpıklık basıklık modeli, beklenen getiri ve çarpıklığın maksimize edilmesi aynı zamanda risk ve basıklığın minimize edilmesi gibi birbirleriyle çelişkili çoklu amaçlar doğrultusunda yatırımcıların tercihlerini karşılayacak ideal portföyler oluşturmayı hedef almaktadır (Aracıoğlu vd., 2011:16).

Ortalama varyans çarpıklık basıklık modelinin gelişmesine katkıda bulunan teorik ve uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Mills (1995), Guidolin ve Timmermann (2005), Lai vd., (2006), Harvey vd., (2010), Beardsly vd., (2012), Briec vd., (2013), Bali vd., (2016) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalarda model uygulamalı olarak test edilmiş modelin optimal portföylerin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

1.4.2.1.5. Yarı Varyans ve Alt Kısmî Moment Modeli

Birçok yatırımcı, beklenen getirisinin üzerindeki pozitif dalgalanmayı risk olarak değerlendirmez, sadece beklentisinin altında kalan veya beklentisinden aşağı yönlü sapmaları risk olarak değerlendirmektedir (Pekkaya, 2011:65). Yarı varyans ortalamadan sapmaların beklenen değerlerinin pozitif veya negatif karesi olarak tanımlanır. Dolayısıyla yarı varyans modeli tek yönlü varyansın değerlendirildiği ve özellikle beklenen getiriden aşağı yönlü sapmaların dikkate alındığı bir modeldir (Wang ve Xia, 2002:6).

Markowitz (1959) çalışmasında ortalama varyans modeline alternatif olarak yarı varyans modelinden de bahsetmekte ve Markowitz (1991) yılındaki çalışmasında da bu modelin portföy optimizasyonu için daha uygun olacağını belirtmektedir (Ayan ve Akay, 2013:121). Ancak bu yöntem uygulamada pek karşılığını bulamamış ve az tercih edilmiştir. Yarı varyans modelinin az tercih edilmesinin temel nedenleri aşağıda belirtilmiştir (Wang ve Xia, 2002:6-7):

- Ortalama varyans modelinde kullanılan istatistiksel tekniklerin daha kullanışlı olması,
- Ortalamaya göre olasılık dağılımının simetrik olmasından dolayı yarı varyansın, ortalama varyansla orantılı değerler alması,
- Hem ortalama varyans hem de yarı varyans modellerinin yatırımcı açısından riskten kaçan bir fonksiyona sahip olmaları

Yarı varyans modeli ve yarı varyans modelinin genel bir hali olan alt kısmî moment modeli Tablo 9'da verilmiştir (Wang ve Xia, 2002:6-7).

Tablo 9: Yarı Varyans ve Alt Kısmî Moment Modeli

Yarı Varyans Modeli	**Alt Kısmî Moment Modeli**
$Svar(R_p) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Max(0, E(R_i) - R_i)^2$	$Max.F_\alpha(t) = \int_{-\alpha}^{t}(t-x)^\alpha dF(x),\ \alpha > 0$
$E(R_i)$: İlgili menkul kıymetin beklenen getiri oranı, R_i: İlgili menkul kıymetin gerçekleşen getiri oranı, i:Portföyde yer alan menkul kıymetler.	t: Yatırımcının hedef getiri oranını, R: Yatırımcının beklenen getiri oranını, α: Hedef getiriden daha aşağı yönlü sapma olan risk için sınır parametre, F: Portföy getirisinin olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Alt kısmî moment modeli ya da diğer adıyla "ortalama hedef modeli"nde belirli bir hedef getiriden daha düşük olan getiriler hesaplamaya dâhil edilerek olası kayıpların momenti hesaplanmaktadır (Mut, 2009:20-26). Hedef getiri ise uygulamada risksiz faiz oranı tarafından temsil edilmektedir. Bawa (1975) ve Fishburn (1977) çalışmasında, bu kayıp riskini alt kısmî moment modeli altında tanımlayıp, "α-t" modeli geliştirilmiştir.

Alt kısmî moment modeline göre, hedeflenen getirinin üstünde oluşan risk nötr kabul edilmektedir. Model aynı zamanda ayrı bir kısıt gerektirmez (Kang vd., 1996:63). Modelde, yatırımcıların çoğunlukla hedefledikleri getiriye ulaşmadaki risk ile başarısızlık ilişkisi değerlendirilmiştir. Model, hedef getirinin altındaki dağılımları ortadan kaldırır; ancak hesaplamasındaki karmaşıklık nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır. (Wang ve Xia, 2002:8):

Yarı varyans ve alt kısmî moment modelinin gelişmesine katkıda bulunan uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Markowitz vd., (1993), Costa ve Nabholz (2002), Yan vd., (2007), Huang (2008), Mut (2009), Qui vd., (2013), Estrada, (2015) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalarda, model uygulamalı olarak test edilmiş ve modelin optimal portföylerin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

1.4.2.1.6. İndeks Modelleri

Markowitz' in (1952) ortalama varyans modelinin, uygulanmasının büyük zaman kaybına ve maliyete sebeb olmasının uygulamada zorluklar yaşanmasına neden olduğu bilinmektedir. Bu zorlukların giderilmesi için ve daha uygulanabilir model arayışları neticesinde indeks modeller geliştirilmiştir. İndeks modelleri, menkul kıymetlerin getirisi ile bir endeks veya birden fazla çeşitli endeks arasında doğrusal bir ilişki olduğu esasına dayanmaktadır (Ceylan ve Korkmaz, 1998:175). Literatürde indeks modelleri, tekli indeks modeli ve çoklu indeks modeli şeklinde iki başlık altında incelenmektedir.

Tekli indeks modeli Sharpe (1963) tarafından geliştirilen bir modeldir. Model, Markowitz' in portföy seçimine ilişkin görüşlerinin uygulanabilir hale gelmesi yolunda atılmış büyük bir adım olarak görülmektedir (Benrnstein, 1997:17). Modele göre tüm menkul kıymetler ile piyasa arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu ilişki basit doğrusal regresyon modeli ile de ifade edilebilmektedir. Model ayrıca menkul kıymet getirilerinin birbirleriyle ilişkili olduğu varsayımına dayanmaktadır (Sharpe, 1963:277-293). Model bir menkul kıymetin veya portföyün, piyasa endeksine göre getirisinin hesaplanmasına dayanır. Tekli indeks modeline göre bir varlığın getirisi, portföyün getirisi, portföyün varyansı ve ilgili menkul kıymetlerin portföye dâhil edilebilirliğini gösteren kesme oranına ait formüller Tablo 10'da verilmiştir. (Bodie vd., 2014:259; Wang ve Xia, 2002:6; Elton vd., 2014:178):

Tablo 10: Tekli İndeks Modelinde Yer Alan Formüller

Bir Varlığın Getirisi	$R_i = \alpha_i + \beta_i R_M + e_i$
Portföyün Getirisi	$E(R_p) = E(R^T x) = E((\alpha_i + \beta_i R_M)^T x) = \sum_{i=1}^{N} x_i \ (\alpha_i + \beta_i E(R_M))$
Portföyün Varyansı	$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{N} w_i^2 \beta_i^2 \sigma_m^2 + \sum_{i=1}^{N} w_i^2 \sigma_{e_i}^2 + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1, i \neq j}^{N} w_i w_j \beta_i \beta_j \sigma_m^2$
Kesme oranı	$C_i = \frac{\bar{R}_i - R_f}{\beta_i}$
R_i : i hisse senedinin beklenen getiri oranı, α_i : i hisse senedinin bağımsız getirisi, β_i : i hisse senedinin piyasa getirisi ile olan ilişkisini gösteren katsayı, R_M : Piyasa endeksinin getirisi, e_i : Hata terimi C_i : (Cutoff Ratio) İlgili hisse senedinin portföye dâhil edilebilirliğini değerlendiren oran, $\bar{R}$: İlgili hisse senedinin beklenen getiri oranı, R_f : Risksiz varlığın getirisi, β_i : Piyasa getirisindeki % 1'lik bir değişimin, ilgili hisse senedinin getiri oranını ne oranda etkilediğini gösteren katsayıdır.	

Model, portföy getirisinin ve riskinin piyasa endeksindeki hareketlerden etkilendiği varsayımından hareket etmektedir. Tekli indeks modelinde portföy optimizasyonu için tercih edilecek varlıkların belirlenmesinde uygulanan kesme oranı (C) için Standart bir C^* değeri belirlenir. Daha sonra her hisse senedi için C_i değeri hesaplanır ve bulunan değerler küçükten büyüğe doğru sıralanır. C_i değerleri standart değerin (C^*) üzerinde olan hisse senetleri portföye dâhil edilirken, C_i değerleri standart değerin (C^*) altında olan hisse senetleri portföyden çıkarılır (Elton vd., 2014:178).

Tekli indeks modeli altında yatan temel varsayım, hisse senedi getirilerinin pazar endeksi getirilerinden etkilenmesidir. Çoklu indeks modelinde ise hisse senedi getirilerinin; pazar endeksinin yanı sıra faiz oranları, enflasyon ve endüstri endeksi gibi birçok makroekonomik faktörlerden de etkilendiği iddia edilmektedir

(İskenderoğlu ve Karadeniz, 2011:238). Çoklu indeks modeline yönelik ilk çalışmalardan biri King (1966) çalışmasıdır. İlgili çalışmada hisse senedi getirilerinin sadece pazar endeksi getirisi ile değil aynı zamanda endüstri endeksi getirileri ile de etkileşim içinde olduğu ifade edilmiştir. Çoklu indeks modeline göre portföyün beklenen getirisi ve riski Tablo 11'de verilmiştir (Elton vd., 2014:156-157):

Tablo 11: Çoklu İndeks Modeli

Portföyün Getirisi	$\bar{R}_i = \alpha_i + \beta_{i1}\bar{I}_1 + \beta_{i2}\bar{I}_2 + \cdots + \beta_{iL}\bar{I}_L + e_i$
Portföyün Varyansı	$\sigma_i^2 = \beta_{i1}^2\sigma_{I1}^2 + \beta_{i2}^2\sigma_{I2}^2 + \cdots + \beta_{iL}^2\sigma_{IL}^2 + \sigma_{ei}^2$
$\bar{R}_i$: i finansal varlığın getirisi α_i: İndekslerden bağımsız getiri β_i: i finansal varlığın getirisinin, söz konusu indeks veya göstergelerin düzeylerindeki değişimlere duyarlılığı $\bar{I}_i$: İndeks türleri e_i: Finansal varlığın getirisinin indekslerle açıklanamayan kısmı σ_i^2: i finansal varlığın varyansı	

İndeks modellerinin gelişmesine katkıda bulunan teorik ve uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Chone ve Pogue's (1967), Stone (1974), Farrell (1976), Llyod ve Shick (1977), Kwan (1984), Collins ve Barry (1986), Chamberlain vd., (1990), Lillo ve Mantegna (2001), Bilbao vd., (2006), Grover ve Lavin (2007), Mcaleer ve Viega (2008), Huang ve Qiao (2012) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalarda, model uygulamalı olarak test edilmiş ve modelin optimal portföylerin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

1.4.2.1.7. Geometrik Ortalama Modeli

Latane (1959) çalışmasında, Markowitz 'in (1952) etkin portföyleri belirlemek için bir yöntem geliştirdiğini; ancak bunlardan hangisinin seçileceğine dair bir yöntem sunmadığı iddia edilerek alternatif olarak geometrik ortalama modeli geliştirilmiştir. Geometrik ortalama modelinin iki gerekçeyle kullanılması önerilmiştir. Bunlardan ilki eğer portföy getirilerinin logaritması normal dağılım gösteriyorsa geometrik ortalama modeli en yüksek faydayı sağlayacak, portföyü oluşturmada başarılı sonuç verecek ve bu portföy etkin sınırda yer alacaktır. İkincisi ise model ile oluşturulan portföy yatırımcılara sezgisel anlamda da çekici gelecektir (Elton ve Gruber, 1974:484).

Latane (1959) çalışmasında, logaritmaları normal dağılıma sahip bir portföyün getirisinin geometrik ortalama modeline göre maksimize edilmesinin, ortalama varyans modeline göre daha başarılı olduğu sonucuna varmıştır. Geometrik ortalama modeline göre portföy optimizasyon modeli Tablo 12'de verilmiştir (Estrada, 2010:24):

Tablo 12: Geometrik Ortalama Modeli

Amaç Fonksiyonu	$1 + GM_r = \left\{\prod_{t=1}^{n}(1 + r_t)\right\}^{\frac{1}{t}} \quad veya$ $GM_r \cong Exp\left\{ln(1 + \mu_r) - \frac{\sigma^2}{2.(1 + \mu_r)^2}\right\} - 1$
GM_r: Portföyün geometrik ortalaması, r_t: Varlık getiri serisi değerleri, n: Veri sayısı, μ_r: r portföyün ortalama getirisi, σ^2: Portföyün varyansı.	

Estrada (2010), geometrik ortalama portföy optimizasyon modelinin uzun vadeli yatırımlarda daha başarılı sonuçlar verdiğini; ancak kısa vadeli yatırımlarda aynı başarıyı sergilemediğini belirtmiştir.

Geometrik ortalama modelinin gelişmesine katkıda bulunan teorik ve uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Samuelson (1969), Latane ve Tutle (1970), Hakansson (1974), Weide vd., (1977), Bernstein ve Wilkinson (1997), Estrada (2010) ve Santiago ve Estrada (2013) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalar, modeli uygulamalı olarak test etmiş ve modelin optimal portföylerin belirlenmesinde kullanılabileceğini ifade etmiştir.

1.4.2.1.8. Black ve Litterman Modeli

Black ve Litterman (1991) çalışmasında ideal sonuçlar ortaya koyan portföy modellerini elde etmek amacıyla, beklenen getirilerin tahminine yönelik bir model oluşturulmuştur. Model üç temel varsayımdan hareket etmektedir. Bu varsayımlar sırasıyla, modelin matematiksel yapısının izlenebilir olması, model girdilerinin portföy yöneticisi için sezgisel olması ve optimal portföyün yatırımcıların görüşlerini yansıtmasıdır (Black ve Litterman, 1991).

Black ve Litterman modeli, portföy modelleme sürecini fiilî yatırım ortamları için daha kullanışlı hale getirmek için geliştirilmiştir. İlgili modelde, denge yaklaşımı adı verilen bir sistem uygulanmaktadır. İdeal olarak görülen piyasa dengesi referans noktası olarak kabul edilmektedir. Sonrasında yatırımcı, beklenen getiriyi temsil eden bir dizi piyasa tahmini ve bu tahminlerden her biri için bir güven seviyesi belirler. Bu tahminler denge getirileri ile birleştirilir ve bunların birleşimi Black ve Litterman modelinin beklenen getirilerini oluşturur. Bu getiriler daha sonra ortalama varyans yöntemi içerisinde optimize edilir. Yatırımcılar sadece gelecekte elde edecekleri getiriler hakkında fikir sahibi olduğu varlıklar üzerinden risk alarak yatırım kararı verirler. Alınan riskler, büyüklüğü kullanıcı tarafından belirlenen güven düzeylerine, yatırımcıların görüşlerine göre belirlenen piyasa dengesine ve bu değişkenlerin ağırlığını ifade eden parametrelere dayalıdır (Litterman, 2003:79-80; Çalışkan, 2010:33-34).Black ve Litterman'ın optimal portföy formülü Tablo 13'de verilmiştir (Mankert, 2006:25):

Tablo 13: Black ve Litterman Modeli

Amaç Fonksiyonu	$w^* = w^M + \frac{\tau}{\delta} P^T (\Omega + \tau P \sum P^\tau)^{-1} (q - \delta P w^M)$
w^*: Black - Litterman optimal portföyünün ağırlık vektörü, w^m: Denge portföyü veya piyasa portföyü olarak ifade edilen piyasa portföyünün ağırlık vektörü, τ: Genellikle "görüşlerin ağırlığı" ya da "enformasyon oranı" olarak da ifade edilen bir parametre (τ sabittir ve Ω ile birlikte görüş portföyü ve denge portföyü arasındaki ağırlığı belirler), δ: Rizikodan kaçınma faktörü, P: Görüşlerin bir kısmını temsil eden bir matris, Ω: $w_l^1, \ldots \ldots w_k^1$'den ibaret olan diyagonal bir matris, q: Her yatırımcı görüşü içerisinde tahmini beklenen getiriyi temsil eden bir sütun vektörü.	

Black ve Litterman modeli beklenen getiri belirlerken iki bilgi kaynağı kullanmaktadır. Birincisi sermaye varlıkları fiyatlandırma modelinden elde edilen beklenen getiri, ikincisi ise yatırımcıların görüş ve düşünceleri doğrultusunda elde edilen beklenen getiridir. Bu iki bilgi kaynağından elde edilen beklenen getiriler aracılığıyla yeni bir beklenen getiri hesaplanır. Elde edilen yeni beklenen getiri portföy optimizasyon sürecinde kullanılır (Çalışkan, 2010:35-36).

Black ve Litterman modelinin gelişmesine katkıda bulunan teorik ve uygulamalı çalışmalara örnek olarak, He ve Litterman (1999), Drobetz (2001), Beach ve Orlov (2007), Jones vd., (2007), Martellini ve Ziemann (2007), Silva vd., (2009), Çalışkan (2010), Dewandaru vd., (2015), Bessler vd., (2017) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalar, modeli uygulamalı olarak test etmiş ve modelin optimal portföylerin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

1.4.2.1.9. Minimax Portföy Modeli

Minimax optimizasyon modeli oyun teorisine dayalı bir modeldir. Oyun teorisine göre bir oyun, amaç ve rakiplerinin oyun stratejilerini tahmin eden iki veya daha fazla kişi tarafından oynanmaktadır. Nash (1953) çalışmasıyla geliştirilen teoriye göre, her oyuncu diğer oyuncuların yapabileceği hamle seçeneklerine bakarak en uygun hamleyi seçtiği takdirde faydasını maksimize edecektir. Böylelikle oyuncular rasyonel davranırsa beklenen getirilerini maksimum veya beklenen kayıplarını minimum yapmaya çalışarak her durum için bir çözüm bulabileceği ifade edilmiştir (Farias vd., 2006:391). Young (1998) çalışmasında geliştirilen minimax modeli, riskin ölçüsü olan varyansı minimum yapmak yerine minimum getirileri dikkate almaktadır. Oluşturulmak istenen portföy, belirli bir getiri düzeyinde maksimum kaybı minimum yapacak şekilde seçilmektedir. Bu modelin amaç fonksiyonu doğrusal olarak tanımlandığından, ortalama varyans modelindeki kuadratik programlama modelinin karmaşıklığını gidermektedir. Minimaks modeline göre oluşturulmak istenen portföyde amaç kabul edilebilir minimum ortalama getiri koşulu altında, tüm geçmiş periyoda göre olası maksimum kaybı minimum yapmaktır (Bozdag vd., 2005; İskenderoğlu ve Karadeniz, 2011:240).

Minimax model, getirinin maksimize edilmesinin yanında, yatırımcıların risk tutum ve kararları ışığında öncü bilgiler sağlayan bir modeldir. Young (1998) tarafından geliştirilen minimax modeli Tablo 14’te verilmiştir. (Polak vd., 2010:409-411; Farias vd., 2006:391-393):

Tablo 14: Minimax Optimizasyon Modeli

Amaç Fonksiyonu	$LP(M)\ Max(Z_m) \leq \sum_{i=1}^{m} r_{ij} w_i \ for\ j\ \in \{1, \ldots\ldots, n\},$
Kısıtlar	$\sum_{i=1}^{m} w_i \bar{r}_i \geq G, \sum_{i=1}^{m} w_i \leq W, \sum_{i=1}^{m} w_i \leq 1, w_i \geq 0,$ $\forall i \in \{1, \ldots\ldots, m)$
Z_m: Kabul edilebilir minimum getiri, r_{ij}: i zamanda j varlığının getirisi, w_i: i varlığının portföydeki ağırlığı, G: Portföyün ortalama getirisini aşan kısım, W: Toplam bütçe.	

Modele göre seçilen portföy, geçmiş gözlemlere kıyasla beklenen minimum getirileri maksimize eden portföydür. Bu model, varlık fiyatları normal olarak dağılmadığında ve benzer şekilde sonlanmadığında, diğer portföy optimizasyon modellerine göre uygulama kolaylığı sunmaktadır (Farias vd., 2006:393).

Minimax modelinin gelişmesine katkıda bulunan teorik ve uygulamalı çalışmalara örnek olarak, Cai vd., (2000), Cai vd., (2004), Deng vd., (2005), Yan ve Chen (2008), Polak vd., (2010), Yuan ve Watada (2014),Yuan vd., (2015) çalışmaları verilebilir. İlgili çalışmalarda, model uygulamalı olarak test ederek modelin optimal portföylerin belirlenmesinde genel olarak başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

1.4.2.1.10. Genetik Algoritma Bazlı Modeller

Genetik algoritmalar, canlıların genetik değişimlerden geçme süreçlerini problem çözme tekniği olarak taklit eden bir yöntem şeklinde ortaya çıkmış olup, güçlü ve yaygın bir şekilde kullanılan stokastik arama ve optimizasyon tekniğidir (Gen ve Cheng, 2000:1). Buna göre sabit büyüklükte bir popülasyona belli genetik işlemleri uygulamak suretiyle tekrarlı bir şekilde çalışır (Affenzeller vd., 2009:2).Genetik algoritmalar, değişken kodlama esasına dayalı bir teknik olup çözümü elde etmek için rassal arama tekniklerini kullanır. Problemlere göre doğru parametreler ile çalışıldığında optimuma yakın çözümler sunar (Engin ve Fığlalı, 2002:28). En çok kullanılan genetik algoritma bazlı optimizasyon modelleri, sürü zekâsı temelli optimizasyon modeli, yerel arama optimizasyonu modeli, yapay sinir ağları optimizasyonu modeli, veri madenciliği optimizasyon modeli ve bulanık mantık optimizasyon modelidir.

Sürü zekâsı temelli optimizasyon modellerindeki sürü zekâsı, hayvan sürülerinin besin arama süreçlerindeki davranışlarından hareketle ortaya çıkan sayısal ve davranışşal bir kavramdır (Belal, 2006:55) Sürü zekâsı kavramı, etkili optimizasyon ve kümeleme algoritmalarının gelişmesine sebep olmuştur. Sürü optimizasyonu, popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon modelidir. Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından önerilen model, kuş ve balık sürüleri gibi türlerin sosyal davranışlarından esinlenmiştir. Yöntem, kuş vb. sürülerin besin kaynağını ararken göstermiş oldukları davranış biçimlerinden hareket etmektedir. Sürüde bulunan hiçbir canlının, optimum kaynağının yerini bilmediği halde bile hepsinin başarılı bir şekilde kaynağa ulaşmasından esinlenilmiştir (Çelenli, 2013:31-32).

Genetik algoritma bazlı modellerden bir diğeri yerel arama optimizasyonu modeli olup, özellikle matematiksel çözümü zor olan örneklerde kullanımı yaygın olan bir tekniktir. Bir yerel arama yönteminde temel mantık; sorunun çözümünün bir döngü içinde aranması yerine, her seferinde daha uygun komşu çözüme varan bir yolun takip edilmesi ve bu yol üzerindeki komşuluk ilişkilerini belirleyen özelliklerin arama uzayında yer alıyor olmasıdır (Hoss ve Stutzle, 2005:33). Komşu çözümler arasında en uygununa doğru olan arayış, tekrarlanan bir şekilde devam ettirilir ve bu yol, tatmin edici bir optimal çözüm bulunana dek izlenir. Bununla beraber, aramanın durdurulması işlemi, maksimum toplam arama zamanı gibi bir kriter üzerinden de gerçekleştirilebilir (Demirelli, 2014:77).

Bir diğer genetik algoritma bazlı model olan yapay sinir ağları optimizasyonu modeli, son yıllarda sık kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. Temel mantığı insan beynini taklit ederek insan gibi yorum yapabilmektir. Yapay sinir ağları, beyni oluşturan sinir hücrelerini matematiksel olarak ifade ederek akıllı bir sistem oluşturmaya çalışan yapay zekâ yöntemidir. Yapay sinir ağları; öğrenme, genelleme, sınıflandırma, ilişkilendirme, özellik belirleme, tahmin ve optimizasyon gibi işlemlerin yapılmasını sağlar. Bu ağlar öğrenmenin yanı sıra ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler kurma yeteneğine de sahiptir. Yapay sinir ağlarının kendi kendilerine öğrenebilme yetenekleri vardır. Bu ağlar, görmedikleri örnekler hakkında bilgi üretebilir. Bütün bunlar portföy optimizasyonunda yapay sinir ağlarının kullanılmasını avantajlı kılmaktadır (Yavuz, 2012:3-4).

Veri madenciliği optimizasyon modeli, veri ambarlarındaki çeşitli verilerin kullanılmasıyla yeni bilgileri ortaya çıkarılması ve elde edilen bu bilgilerin karar verme ve uygulama aşamasında kullanılma sürecidir. Veri madenciliği kendi başına bir çözüm üretmemekte, ancak çözüm için gerekli bilgileri sağlamakta ve karar verme aşamasında yardımcı olmaktadır (Özmen, 2001:2). Veri madenciliği optimizasyonunda amaç, geçmişteki verilerden yola çıkarak gelecekte olası sonuçların tahminine yönelik karar verme mekanizmaları yaratmaktır (Küçüksille, 2009:29).

Bulanık mantık optimizasyon modeli ise belirsizlik içeren olaylara hitap eden çok değerli mantık disiplini olup, belirsizliklerin ifade edilmesi ve belirsizliklerle çalışabilmesi için kurulmuş bir matematiksel modellemedir. (Gündoğdu, 2003:256; Novak,2006:635). Bu mantığın en temel özelliği üçüncünün olmazlığı ve çelişmezlik ilkesinin geçerli olmayışıdır (Baykal ve Beyan, 2004:39). Geleneksel mantık siyah veya beyaz diye ikili seçenek sunarken, bulanık mantık siyah ve beyaz arasında kalan gri bölgeyi derecelendirerek daha çok seçenek sunar. Klasik mantıkta üyelik “0” veya “1” diye derecelendirilirken, bulanık mantıkta üyelik “0” ile “1” arasındaki değerlerle derecelendirilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004:75).

1.4.2.2. Portföy Optimizasyon Modellerinin Karşılaştırılması

Portföy optimizasyon modelleri genellikle riske bakış açısına göre farklılık arz etmektedir. Karşılaştırma yapılırken temel alınan portföy optimizasyon modeli ortalama varyans modelidir. Ortalama varyans modeli üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilen eksilikler ve eleştiriler alternatif modellerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu modellerin çıkış noktası ortalama varyans modeline yönelik yapılan eleştirilerden kaynaklandığı için karşılaştırmanın ortalama varyans modeli baz alınarak yapılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu bağlamda diğer modeller ile ortalama varyans modeli arasındaki farklılıklar bu bölümde karşılaştırılmıştır.

Ortalama mutlak sapma modeli, ortalama varyans modeline benzemekle birlikte iki temel farklılık içermektedir. Bunlardan ilki ortalama varyans modeli risk ölçüsü olarak standart sapmayı kullanırken, ortalama mutlak sapma modeli risk ölçüsü olarak mutlak sapmayı kullanmaktadır. İkinci farklılık ise ortalama varyans modeli çözüm için kuadratik programlamayı kullanırken, ortalama mutlak sapma modeli doğrusal programlamayı kullanmaktadır.

Getiriler normal dağılmadığında ortalama varyans modelinin çözüm için yeterli olamayacağı gerekçesiyle bu eksiliği gidermek için üçüncü moment çarpıklık ve dördüncü moment basıklığın ortalama varyans modeline dâhil edilmesiyle ortalama varyans çarpıklık ve ortalama varyans çarpıklık basıklık modelleri geliştirilmiştir. Bu iki model arasındaki temel fark ortalama varyans modeli performans ölçütü olarak ilk iki moment olan ortalama getiri ve varyansı kullanırken, ortalama varyans çarpıklık ve basıklık modelleri ilk iki momentle birlikte üçüncü moment çarpıklık ve dördüncü moment basıklığı performans ölçütü olarak kullanmaktadır.

Ortalama varyans modeli ile yarı varyans ve alt kısmî moment modelleri arasındaki fark riske bakış açısıyla ilgilidir. Ortalama varyans modeline göre portföy riski hesaplanırken beklenen getirilerdeki aşağı ve yukarı yönlü sapmalar dikkate alınmaktadır. Ancak yarı varyans ve alt kısmî moment modelinde, yukarı yönlü sapmaların portföy riski hesaplamasına dâhil edilmesinin doğru bir yaklaşım olmayacağını bu yüzden portföy riski hesaplamasında sadece aşağı yönlü sapmaların dikkate alınması gerekliliği ifade edilmiştir.

Ortalama varyans modelinde, portföyde yer alacak menkul kıymet sayısı artıkça portföyün riskinin ve getirisinin hesaplanması zorlaşmaktadır. Çünkü model, menkul kıymetler arasındaki kovaryansların hesaplanmasını gerektirmektedir. Portföyde yer alacak menkul kıymet türü ne kadar fazla ise bunlar arasındaki kovaryans değerlerin hesaplanması, hem zaman almakta hem de zor olmaktadır. İndeks modeller ise bu zaman kaybını ve zorluğu gidermektedir. Çünkü indeks modellerine göre menkul kıymetler arasındaki kovaryansın hesaplanmasına gerek yoktur. Menkul kıymetlerin piyasa endeksi ile ilişkisine bakarak optimal portföyün oluşturulmasını sağlamaktadır. Ortalama varyans modeli menkul kıymetler arasındaki kovaryans ilişkisinden hareket ederken, indeks modeller menkul kıymetlerin piyasa endeksi ve/veya makroekonomik faktörler ile ilişkisinin göstergesi olan betalardan hareket etmektedir.

Ortalama varyans modeli sayesinde etkin sınırda yer alan portföyler belirlenmektedir. Ancak model bu portföylerden hangisinin seçileceğine dair bir öneri sunmamaktadır. Geometrik ortalama modeli ise ortalama varyans modelinin bu eksikliğini gidermekte ve etkin portföylerden hangisinin seçilmesinin gerektiği hususunda öneri sunmaktadır. Ayrıca geometrik ortalama modelinin kısa vadeli yatırımlarda performasının düşük olduğu ifade edilmektedir.

Ortalama varyans modeli ile Black ve Litterman modeli arasındaki farklılık beklenen getirinin hesaplamasında yatmaktadır. Ortalama varyans modeline göre tek bir beklenen getiri kullanılmakta o da modelde yer alan matematiksel denklem sonucu ortaya konmaktadır. Black ve Litterman modeli ise iki farklı beklenen getiri hesaplamakta ve sonra bu iki farklı beklenen getiriden yeni bir beklenen getiri oluşturmaktadır. Modele göre beklenen getirilerden ilki sermaye varlıkları fiyatlandırma modeli kullanılarak hesaplanan getiridir. Diğeri ise yatırımcıların beklentileri, sezgileri ve öngörüleri neticesinde oluşturulan getiridir.

Ortalama varyans modelinin hareket noktası, varyansın diğer bir ifade ile riskin minimize edilmesidir. Minimax modelinin hareket noktası ise kabul edilebilir minimum getiri hedefinin altında kayıpları minimize etmektir. Ayrıca ortalama varyans modelinde kuadratik programlama kullanılırken, minimax modelinde doğrusal programlama kullanılmaktadır.

Ortalama varyans modeli ile genetik algoritma bazlı modeller arasındaki farklılıklar genellikle amaç fonksiyonları ve kısıtlardan kaynaklanmaktadır. Genetik algoritma bazlı modeller, amaç fonksiyonu ve kısıtları kimi zaman bulanıklaştırmakta kimi zamanda sezgisel parametreler eklemektedir. Bu yüzden de bu modeller, model olmaktan ziyade modelin kurgulanışını farklılaştıran yaklaşımlar olarak çalışmalarda ele alınmaktadır.

Tablo 15'te ortalama varyans modeli ile diğer modeller arasındaki farklılıklar özet olarak verilmiştir.

Tablo 15. Portföy Optimizasyon Modellerinin Karşılaştırılması

Modeller	**Ortalama Varyans Modeli (OVM)**
Ortalama Mutlak Sapma Modeli (OMSM)	Risk ölçütü olarak OVM standart sapmayı kullanırken, OMSM mutlak sapmayı kullanır. OVM kuadratik programlama kullanırken OMSM doğrusal programla kullanır.
Ortalama Varyans Çarpıklık Modeli (OVÇM)	OVM performans ölçütü olarak ortalama getiri ve varyansı kullanırken, OVÇM bunlara ilaveten çarpıklık kriterini de kullanmaktadır.
Ortalama Varyans Çarpıklık Basıklık Modeli (OVÇBM)	OVM performans ölçütü olarak ortalama getiri ve varyansı kullanırken OVÇBM bunlara ilaveten çarpıklık ve basıklık kriterlerini de kullanmaktadır
Yarı Varyans (YV) ve Alt Kısmî Moment Modeli (AKM)	OVM getirilerdeki aşağı ve yukarı yönlü sapmaları risk ölçümünde kullanırken YV ve AKM modelleri risk ölçümünde sadece aşağı yönlü sapmaları dikkate almaktadır.
İndeks Modeller (İM)	OVM hareket noktasında menkul kıymetler arasındaki kovaryans hesaplamaları yatarken, İM'in hareket noktası menkul kıymetler ile piyasa endeksi ve/veya makroekonomik faktörler arasındaki ilişkiyi temsil eden betaların hesaplanmasıdır
Geometrik Ortalama Modeli (GOM)	OVM etkin sınırda yer alan portföyleri belirlerken GOM ek olarak bu portföylerden hangisinin tercih edilmesi gerektiğini de gösterir
Black ve Litterman Modeli (BLM)	OVM tek bir beklenen getiri kullanıp bu model aracılığıyla hesaplanırken, BLM sermaye varlıkları fiyatlandırma modeli ile hesaplanan beklenen getiri ile yatırımcıların sezgileri sonucu oluşturulan beklenen getiriyi kompoze ederek kullanmaktadır.
Minimax Modeli (MM)	OVM amaç fonksiyonlarından biri varyansın minimize edilmesi iken MM beklenen minimum getirilerdeki kaybın minimize edilmesi amaç fonksiyonlarından biridir. Ayrıca OVM kuadratik programlamayı kullanırken, MM doğrusal programlamayı kullanmaktadır.
Genetik Algoritma Bazlı Modeller (GABM)	Bu modeller diğer modellerin amaç fonksiyonu ve kısıtlarına sezgisel parametreler ekleyerek veya bunları bulanıklaştırarak hesaplamalar yapmaktadır

2. BÖLÜM: PORTFÖY OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bu bölümde portföy optimizasyonuna yönelik uygulamalı çalışmalar yer almaktadır. Bu bölüm iki alt bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde bulanık mantık temelli portföy optimizasyon modelleri ile yapılan çalışmaların oluşturduğu literatür kısmı, ikinci bölümde ise bulanık mantık temelli olmayan portföy optimizasyon modelleri ile yapılan çalışmaların oluşturduğu literatür kısmı yer almaktadır. Portföy optimizasyonuna yönelik uygulamalı çalışmalara bakıldığında, bazı çalışmalarda yatırımcıların riske karşı tutumları temel alınarak optimal portföyler oluşturulurken, bazı çalışmalarda ise piyasaların yönü esas alınarak optimal portföyler oluşturulduğu görülmektedir.

2.1. Bulanık Mantık Modeli ile Yapılan Portföy Optimizasyonu Çalışmaları

Portföy oluşturmada temel amaç, portföyü oluşturan menkul kıymetlerde çeşitlendirme yaparak belirli bir getiri düzeyinde riski minimize etmektir. Bu amaca yönelik ilk bilimsel çalışmalar Markowitz (1952) tarafından gerçekleştirilmiştir. Optimal portföyü oluşturmak amacıyla yıllar içerisinde birçok alternatif model geliştirilmiştir. Son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan modellerden biri de bulanık mantık temelli modellerdir. Bulanık mantık kavramı ilk olarak Zadeh (1965) tarafından kullanılmıştır. Modelin portföy optimizasyonuna uygulanmasına yönelik süreç Ramaswamy (1998), Tanaka ve Gu (1999) ve Inuiguchi ve Ramik (2000) çalışmalarıyla başlamıştır. Literatürde yer alan, bulanık mantık modeli kullanılarak yapılan uygulamalı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Bekçi (2001) çalışmasında, 1 Ocak 1999 – 30 Haziran 2001 tarihleri arasında BİST 100'de sürekli yer alan hisse senetlerinin aylık verileri kullanılmıştır. Çalışmada dönem uzunluğu 30 ay olup toplamda 63 adet şirketin hisse senetleri kullanılmıştır. Doğrusal programlama modeli ile yapılan analiz sonucunda 8 şirketin hisse senedinden oluşan portföyün beklenen aylık getirisi %6,53, portföyün riski ise %12,02 olarak hesaplanmış olup optimal portföy sekiz farklı hisse senedinden oluşmaktadır. Beklenen getirinin %1 oranında bulanıklaştırılmasıyla gerçekleştirilen analiz sonucunda ise 6 şirketin hisse senedinden oluşan portföyün beklenen getirisi %5,53, portföyün riski ise %11,77 olarak hesaplanmıştır. Bulanıklaştırma sonucu oluşturulan portföyde yer alan 6 hisse senedi ile doğrusal programlama modeli ile oluşturulan portföydeki hisse senetleri aynı hisselerdir. Analiz sonucunda özellikle riske karşı duyarlı olan yatırımcıların bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli çerçevesinde hareket etmeleri önerilmiştir.

Güngör vd. (2005) çalışmasında, Haziran 2000 – Mart 2005 tarihleri arasında 3 aylık veriler ile toplamda 20 dönem dikkate alınarak Borsa İstanbul'da işlem gören 261 hisse senedi içinden, piyasa faiz oranları üzerinde getirisi olan 114 hisse senedi belirlenmiştir. Ancak oluşturulan portföyde yer alacak hisse senetlerinin BİST 30, BİST 50 ve BİST 100 içerisinde olma şartı da aranmaktadır. Modelde riski dağıtmak amacıyla portföyde yer alacak hisse senetlerin 4 farklı sektörde yer alması kısıtı getirilmiştir. Ayrıca benzer nedenlerle portföyün en az 5 hisse senedinden oluşması gerektiği ileri sürülerek bu durum modele kısıt olarak ilave edilmiştir. Diğer bir kısıt olarak da üç aylık dönemde % 15 beklenen getiri hedefi konulmuş ve bu hedefin % 5 oranında değişebileceği varsayılmıştır. Bu kısıtlar altında gerçekleştirilen bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli sonucunda, yatırımcılara üçer aylık dönemlerde %15 üzerinde getiri sunan ve 14 farklı hisse senedinden oluşan 11 farklı portföy önerisi sunulmuştur. Sonuç olarak modelin, yatırımcıların belirledikleri yatırım dönemine uygun optimal portföyleri belirlemede başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Liu vd., (2005) çalışmasında, Çin borsasında işlem gören hisse senetleri arasından seçilen sekiz adet hisse senedinin günlük verileri üzerinde bulanık mantık çoklu programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelde risk ölçütü olarak standart sapma yerine gerek sezgisel olarak yatırımcının risk algısını daha iyi yansıttığı için gerekse daha güvenilir bulunduğu için en kötü durum VAR'ı (worth-case VAR) kullanmıştır. Beklenen getiri ve en kötü durum VAR modelin amaç fonksiyonu olarak modellenir. Sekiz hisse senedinin verileri ile yapılan portföy optimizasyon sonucunda portföyün getirisi 0,0015 ve en kötü durum VAR riski ise

-0,075 olarak tespit edilerek bulanık mantık çoklu programlama modelinin etkinliği doğrulanmıştır.

Pelitli (2007) çalışmasında, Ekim 2001- Eylül 2006 yılları arasında BİST50'de sürekli olarak işlem gören 35 hisse senedinin aylık verileri üzerinde hem doğrusal programlama hem de bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu yapılmıştır. Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinde Verdegay (1982), Werners (1987) ve Zimmermann (1983) yaklaşımı olmak üzere üç farklı yaklaşım kullanılmış olmakla birlikte Werners (1987) ve Zimmermann (1983) yaklaşımlarının benzer olup doğrusal programlama modeline dayandığı ifade edilmiştir. Çalışmada üyelik fonksiyonu $\alpha \in [0,1]$ arasında yer alan değerler için optimal portföyler belirlenmiştir. Verdegay (1982) yaklaşımında α artışına bağlı olarak beklenen getiri artmakta ancak risk daha fazla artmaktadır. Birim risk başına en fazla getiri $\alpha = 0,1$ seviyesinde ortaya çıkmaktadır. Bu üyelik seviyesinde dokuz hisse senedinden oluşan optimal portföyün beklenen getirisi % 4,54 ve riski ise % 6,58'dir. Werners (1987) yaklaşımında ise optimal çözüm $\alpha = 0,66$ üyelik dercesine sahip dokuz hisse senedinden oluşan portföyde olup, optimal portföyün beklenen getirisi % 4,54 riski ise %8,54 düzeyinde gerçekleşmiştir. Zimmermann (1983) yaklaşımında ise optimal çözüm $\alpha = 0,82$ üyelik derecesine sahip yedi hisse senedinden oluşan portföyde gerçekleşmiş olup, optimal portföyün % 4,54 beklenen getirisine karşılık risk değeri %8,64 olmuştur. Sonuç olarak bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin, Konno Yamazaki doğrusal programlama modeline kıyasla optimal portföyü oluşturmada daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aliev vd., (2008) çalışmasında, bir simülasyon oluşturmak amacıyla Borsa İstanbul'da işlem gören, farklı sektörlerden ve ekonomik özelliklerine bağlı olarak seçilen 12 farklı hisse senedinin aylık getirileri ile 12 aylık bir dönem üzerinde bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Çeşitli üyelik seviyelerine göre sekiz hisse senediyle optimal portföyler oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda modelin yüksek etkinlik gösterdiği test edilmiştir.

Aslantaş (2008) çalışmasında, Borsa İstanbul'da 10 sektörden seçilen 100 farklı hisse senedinin 2005 ve 2006 yılına ait aylık verileri kullanılarak optimal portföylerin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda her sektörden üç hisse senedi belirlenerek 30 hisse senedinden oluşan 2 farklı portföy oluşturulmuştur. İlk portföy AHP ve TOPSIS metotlarıyla oluşturulurken, ikinci portföy bulanık AHP ve bulanık TOPSIS metoduyla oluşturulmuştur. AHP ve TOPSIS metotlarıyla oluşturulan portföyün beklenen getirisi %51,1 iken portföyün riski %32,15 olarak gerçekleşmiştir. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS metoduyla oluşturulan portföyün beklenen getirisi %58,4, portföyün riski ise %34,58 olarak gerçekleşmiştir. Birim risk başına beklenen getiriye bakıldığında 1,69 değişim katsayısına sahip bulanık AHP ve bulanık TOPSIS metodu, 1,57 değişim katsayısına sahip AHP ve TOPSIS metoduna göre optimal portföyü oluşturmada daha başarılıdır. Çalışma sonucunda portföyde yer alacak hisse senetleri arttıkça bulanık mantık temelli optimizasyon modellerinin başarısının azaldığı ifade edilmiştir. .

Bozdağ ve Türe (2008) çalışmasında, Ocak 2003 – Eylül 2005 tarihleri arasında BİST30'da sürekli işlem gören 26 adet hisse senedinin aylık verileri üzerinde bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu yapılmıştır. Yatırımcıların farklı risk davranışlarına göre belirlenmiş altı farklı yatırımcı tipine göre üçer hisse senedinden oluşan altı farklı optimal portföy oluşturulmuştur. Portföy optimizasyonu sonucunda yatırımcıların riskten kaçınma derecesi ile beklenen getiri arasında kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir.

Fang vd. (2008) çalışmasında, bulanık mantık temelli ortalama yarı sapmalı model ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Veri seti olarak Mart 2000 ile Nisan 2003 tarihleri arasında, Çin borsasında işlem gören hisse senetlerinden günlük ciro oranlarına göre seçilen 12 farklı hisse senedinin günlük verileri kullanılmıştır. Bu veriler üzerinde bulanık ortalama yarı sapmalı modele, likidite kısıtı ilave edilerek portföy optimizasyonu yapılmış ve üçer varlıktan oluşan optimal portföyler oluşturulmuştur. Sonuç olarak bulanık ortalama yarı sapmalı ve likidite kısıtlı portföy seçim modelinin, yatırımcının memnuniyet derecesine göre favori portföy seçim stratejisi oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Gupta vd. (2008) çalışmasında, Hindistan ulusal borsasında işlem gören hisse senetleri içerisinden rastgele seçilen 20 hisse senedinin 1 Temmuz 2003 ile 30 Haziran 2006 tarihleri arasındaki günlük ve aylık verileri kullanılmıştır. Çalışmada kısa vadeli getiri, uzun vadeli getiri, temettü, risk ve likidite kriterleri altında bulanık küme yaklaşımının yarı mutlak sapma modeline uygulanması ile yatırımcıların istek seviyesini gösteren üyelik fonksiyonlarına göre sekiz hisse senedinden oluşan optimal portföyler oluşturulmuştur. Çeşitli üyelik derecelerine göre optimal portföylerin riski 0,047 ile 0,048 arasında değişirken, getirisi ise 0,055 ile 0,068 arasında değişmektedir. Analiz sonucunda önerilen bulanık portföy seçim modellerinin, yatırımcıların belirsiz üyelik seviyelerine, değişen derecelerde ve çeşitli hedeflerin önemine göre tatmin edici portföy seçme stratejileri sağlayabileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak portföy optimizasyonu için bulanık yarı mutlak sapma modelinin etkin olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Zhang ve Xu (2008) çalışmasında, Şangay 180 endeksinde 10 farklı hisse senedinin seçildiği varsayılarak bu hisse senetleri kullanılarak bulanık ortalama yarı varyans modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sekiz varlıktan oluşan optimal portföy oluşturulmuştur. Sonuç olarak bulanık ortalama yarı varyans modelinin optimal portföylerin belirlenmesinde başarılı osonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Kocadağlı ve Cinemre (2010) çalışmasında, BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin Nisan 2008'den itibaren 42 seanslık verileri üzerinde bulanık doğrusal olmayan model, ortalama varyans modeli ve Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile karşılaştırmalı bir portföy optimizasyonu yapılmıştır. Bulanık doğrusal olmayan model ile oluşturulan optimal portföy sekiz hisse senedinden oluşmakta olup, optimal portföyün getirisi %4,93, riski ise %6 düzeyinde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak bulanık doğrusal olmayan modelin daha başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Mohamad vd. (2010) çalışmasında, Malezya borsasında işlem gören en büyük 30 şirket ile en küçük 30 şirketin Ocak 1998 ile Haziran 2009 yılları arasındaki aylık verileri üzerinde, ortalama varyans, bulanık ortalama varyans ve VBS (Vercher, Bermudez & Segura) modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma dönemi üçe ayrılmıştır. Borsanın yükseliş dönemi (boğa piyasası), düşüş dönemi (ayı piyasası) ve yatay seyrettiği dönemdir. Çalışma sonucunda bulanık ortalama varyans modelinin diğer modellere kıyasla özellikle uzun dönemde ve borsanın düşüş eğilimine girdiği dönemlerde daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Pai ve Michel (2010) çalışmasında, Bombay borsasında BSE 200 indeksinde yer alan hisse senetlerinin Temmuz 2001 – Temmuz 2006 tarihleri arasındaki aylık verileri ve Tokyo borsasında Nikkei 225 endeksinde yer alan hisse senetlerinin Mart 2002 – Mart 2007 tarihleri arasındaki aylık verileri üzerinde bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu yapılmış ve 20 hisse senedinden oluşan optimal portföyler oluşturulmuştur. Uygulama sonucunda bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin performansının optimal portföyü oluşturmada oldukça başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Cebeci (2011) çalışmasında, BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin Ocak 2007 ile Aralık 2009 dönemleri arasında toplam 36 aylık veriler üzerinde bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli kullanılarak portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Modele hisse senetlerinin seçiminde kullanılmak üzere fiyat/kazanç oranı ve teknik analiz yöntemlerinden toplama/dağıtım endeksi kısıt olarak eklenmiştir. Ayrıca modelde Werners (1987) bulanık mantık yaklaşımı esas alınmıştır. Analiz sonucunda altı hisse senedinden oluşan portföyün beklenen getirisin % 4 civarında gerçekleşirken, portföyün riski %7,43 düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çalışmaya VOB'da işlem gören BİST30 endeksinin opsiyonlu alımının da eklenmesiyle portföyün beklenen getirisinin %9,09 düzeyine çıktığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak portföy optimizasyonlarında VOB'da kullanılan sözleşmelerin portföye alınması ve hisse senetlerine yönelik temel ve teknik analiz yöntemlerinin incelenerek uygun olanların modele kısıt olarak dâhil edilmesiyle optimal portföylerin belirlenmesinde daha başarılı olacağı ifade edilmiştir.

Nguyen ve Gordon-Brown (2012) çalışmasında, Avustralya borsasında en yaygın olarak tercih edilen dokuz hisse senedinin 1937 – 1954 yılları arasındaki yıllık verileri ile bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) ile analitik hiyerarşi süreci (AHP) modelleri ile portföy optimizasyonu yapılmıştır. Portföy optimizasyonu sonucunda yatırımcıların risk tercihlerine göre yedi farklı portföy oluşturulmuştur. Optimal portföyler 3 ile 6 hisse senedinden oluşmaktadır. Bulanık mantık modelinin özellik yüksek moment riskleri ile ilgili yatırım tercihlerine uygun optimal portföyleri belirlemede daha başarılı olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak bulanık analitik hiyerarşi süreci ile oluşturulan portföylerin diğer yönteme göre oluşturulan portföylerden daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Gharakhani ve Sadjadi (2013) çalışmasında, Şubat 2009 ile Ağustos 2011 arasında altı sanayi ülkesi olan ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, İsviçre ve Japonya pazar endekslerinin aylık verileri kullanılmıştır. Hedef endeks olarak Morgan Stanley tarafından gelişmiş ülkelerin hisse senedi piyasasının performansını ölçen MSCI (Morgan Stanley Capital International) dünya endeksi kullanılmıştır. Optimal portföyleri oluşturmak amacıyla, ortalama varyans, bulanık Black ve Litterman ve Black ve Litterman modelleri kullanılmıştır. Önerilen modellerin uygulaması ise çok amaçlı doğrusal programlama modeli ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama varyans modeli ve Black ve Litterman modeli ile oluşturulan optimal portföy altı varlıktan oluşurken, bulanık Black ve Litterman modeli ile oluşturulan optimal portföy dört varlıktan oluşmaktadır. Bulanık Black ve litterman modeli ile oluşturulan optimal portföyün getirisi 0,015 iken riski 0,054 düzeyinde gerçekleşmiştir. Oluşturulan optimal portföylerin performansı Sharpe ve Treynor performans kriterleri ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, önerilen modeller ile oluşturulan portföylerin performansının hedef endeks MSCI endeksinden daha başarılı olduğu belirtilip, modeller içerisinde de en yüksek performansa sahip olan portföyün bulanık Black ve Litterman modeli ile oluşturulan portföy olduğu ifade edilmiştir.

Sarokolaei vd. (2013) çalışmasında, 2005 ile 2011 yılları arasında Tahran borsasında işlem gören ve rastgele seçilen on beş hisse senedinin aylık verileri üzerinde çeşitli risk fonksiyonuna dayalı bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli kullanılarak portföy optimizasyonu yapılmıştır. Modelde altı farklı risk kriteri uygulanmıştır. Bu kriterler asimetrik riske maruz değer, simetrik riske maruz değer, aralıklı (%5-%95) riske maruz değer, aralıklı (%10-%90) riske maruz değer, normal riske maruz değer ve riske maruz değer temelli ortalama mutlak sapma risk fonksiyonudur. Bu altı kriter çerçevesinde bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin optimal portföyleri belirlemede başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Tsaur (2013) çalışmasında, Şangay borsasında işlem gören hisse senetleri arasından rastgele seçilen beş farklı hisse senedinin Nisan 2002 ile Ocak 2004 tarihleri arasındaki haftalık verileri üzerinde bulanık portföy modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Model aracılığıyla riskten kaçınan, riske karşı duyarsız ve riski seven yatırımcı tipleri için optimal portföyler oluşturulmuştur. Sonuç olarak farklı yatırımcı tipleri için model aracılığıyla etkin portföyler oluşturulabileceği test edilmiştir.

Bhattacharyya vd., (2014) çalışmasında, Bombay borsasında işlem gören hisse senetleri arasından rastgele seçilen beş farklı hisse senedinin Nisan 2005 ile Mart 2010 tarihleri arasındaki aylık verileri üzerinde ortalama varyans, bulanık ortalama varyans çarpıklık, bulanık ortalama çarpıklık modelleri ile portföy optimizasyonu yapılmıştır. Bütün modeller ile oluşturulan optimal portföyler üç varlıktan oluşmakta olup bulanık ortalama varyans çarpıklık modelinin diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Solatikia vd., (2014) çalışmasında, Frankfurt DAX endeksinde yer alan 6 farklı sektörden seçilen altı farklı hisse senedinin Ocak 2011 - Ocak 2014 tarihleri arasındaki günlük verileri kullanılarak bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç farklı yatırımcı tipi belirlenmiştir. İlk yatırımcı tipi portföyün getirisine de, portföyün riskine de eşit derecede önem vermekte, ikinci yatırımcı tipi ise portföyün getirisine, üçüncü yatırımcı tipi ise portföyün riskine daha fazla önem vermektedir. Analiz sonucunda modelin üç farklı yatırımcı tipi için optimal portföyü belirlemede en uygun çözümü sunduğu ifade edilmiştir.

Sukandar vd., (2014) çalışmasında, Endonezya borsasında işlem gören 451 hisse senedi içerisinden performansı en yüksek 45 hisse senedinin 2011 - 2013 yılları arasındaki aylık verileri üzerinden bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Portföy optimizasyonu sonucunda 0,082 oranında getiriye ve 0,05 oranında riske sahip üç farklı varlıktan oluşan optimal portföy oluşturulmuş olup, bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin portföy optimizasyonunda kullanılabilecek bir model olduğu ifade edilmiştir.

Zhang ve Zhang (2014) çalışmasında, Şangay borsasında işlem gören ve rastgele seçilen 30 hisse senedinin Nisan 2006 - Aralık 2010 tarihleri arasındaki üç aylık verileri kullanılmıştır. Optimal portföyün belirlenmesi amacıyla çok dönemli bulanık ortalama mutlak sapma portföy seçim modeli kullanılmıştır. Model işlem maliyetleri, borçlanma limiti, eşik limitleri kısıtları altında dalgalı doğrusal olmayan dinamik bir modele dönüşmüştür. Beş farklı zaman periyodu için optimal portföyler belirlenmiştir. Optimal portföyler birinci zaman periyodunda dört varlıktan, ikinci zaman periyodunda altı varlıktan, üçüncü zaman periyodunda beş varlıktan, dördüncü zaman periyodunda altı varlıktan ve beşinci zaman periyodunda ise beş varlıktan oluşmaktadır. Sonuç olarak farklı zaman periyotlarında önerilen modelin optimal portföyü belirlemede başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Güran (2015) çalışmasında, Aralık 2010 - Temmuz 2013 tarihleri arasında BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin haftalık kapanış değerleri kullanılmıştır. Analiz için üç farklı model kullanılmıştır. İlk model olarak ortalama varyans modeli kullanılmış ve etkin sınırda yer alan portföylerden Sharpe oranını maksimize eden portföy A portföyü olarak adlandırılmıştır. İkinci model olarak ikinci derece stokastik baskınlık testi ile BİST30 endeksindeki on sekiz hisse senedi verimsiz bulunduğu için analiz dışı bırakılmış kalan on iki hisse senedi ile ortalama varyans modeli kullanılarak portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda belirlenen optimal portföy B portföyü olarak adlandırılmıştır. Üçüncü ve son modelde ise yine ikinci derece stokastik baskınlık testi ile BİST30 endeksindeki on sekiz hisse senedi verimsiz bulunduğu için analiz dışı bırakılmış kalan on iki hisse senedi ile bulanık standart sapmanın minimizasyonu yöntemi ile portföy optimizasyonu yapılmıştır. Analiz sonucunda oluşturulan optimal portföy C portföyü olarak adlandırılmıştır. Çalışma sonucunda üç optimal portföy Sharpe ve Treynor oranına bakarak karşılaştırılmıştır. İki varlıktan oluşan ve %5,3 ortalama getiri sunan C portföyünün diğer iki portföye göre tüm zaman dilimlerinde ve her iki performans kriterine göre üstünlük sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca B portföyünün de benzer şekilde A portföyüne karşı üstünlük sağladığı belirtilmiştir. Dolayısıyla portföyde yer alacak hisse senetlerinin belirlenmesinde ikinci derece stokastik baskınlık testinin bile tek başına fark yaratacağı ifade edilmiştir.

Kocadağlı ve Keskin (2015) çalışmasında, BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin günlük verileri kullanılarak ortalama varyans, ortalama mutlak sapma ve minimax gibi geleneksel yöntemler ile bulanık hedef programlama modeli kullanılarak portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç farklı yatırım dönemi seçilmiştir. İlk yatırım dönemi Ocak 2011 - Şubat 2011 tarihleri arasını içeren ve ayı piyasası olarak ifade edilen dönemdir. İkinci yatırım dönemi Mart 2011 - Nisan 2011 tarihleri arasını içeren ve boğa piyasası olarak ifade edilen dönemdir. Üçüncü yatırım dönemi ise Ağustos 2011 - Eylül 2011 tarihleri arasını içeren ve BİST30 endeksini takip etmek isteyen yatırımcı profilinin incelendiği dönemdir. Analiz sonucunda ilgili yatırım dönemlerinde geleneksel yöntemlerle oluşturulan optimal portföylerin getirisinin, bulanık mantık modeli ile oluşturulan optimal portföylerin getirisinin gerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ayı piyasası olarak ifade edilen dönemde portföyde yer alacak hisse senetlerinin betasının birden düşük veya negatif olması durumunda portföy getirisini artıracağı ifade edilmiştir. Boğa piyasası olarak adlandırılan dönemde ise betası birden büyük olan hisse senetleriyle oluşturulan portföylerin getirisinin daha fazla olacağı ifade edilmiştir. Üçüncü ve son dönemde ise optimal portföy oluşturmak için BİST30 endeksiyle birlikte hareket eden hisse senetlerinin seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Liu ve Zhang (2015) çalışmasında, Çin borsasında işlem gören hisse senetleri arasından rastgele seçilen 10 farklı hisse senedi ile finansal piyasalarda işlem gören bir risksiz finansal varlığın Ocak 2004 - Ocak 2010 tarihleri arasındaki haftalık verileri üzerinde çok dönemli bulanık Konno Yamazaki doğrusal olmayan programlama modeli ile optimal portföy oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda model aracılığıyla risksiz varlıkla birlikte beş varlıktan oluşan optimal portföyün yatırımcıların beklentilerini karşılayabileceği ifade edilmiştir.

Erdaş ve Demir (2016) çalışmasında, BİST30 endeksine dâhil olan Ocak 2012 - Aralık 2014 dönemlerinde işlem gören 30 hisse senedinin aylık verileri kullanılmıştır. Çalışmada, ortalama mutlak sapma modelinde kullanılan doğrusal programlama modelinin beklenen getiri kısıtı ve amaç fonksiyonu yani risk düzeyi, Verdegay ve Werners (1982)'in bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli çözüm yaklaşımları kullanılarak bulanık hale getirilmiştir. Ayrıca modele, optimal portföyde yer alacak hisse senetlerinin farklı sektörlerde yer alması ve işlem hacmi kısıtları eklenmiştir. Portföy optimizasyonu sonucunda yedi hisse senedinden oluşan optimal portföyün riski %1,72, beklenen getirisi ise %4,33 düzeyinde gerçekleşmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, genel olarak Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin çözümlerine kıyasla, bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin yatırımcı ve portföy yöneticileri için çok daha fazla bilgi verdiği ve daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca önerilen modelin, riskli menkul kıymetlere yatırım yapmayı düşünen yatırımcılara daha rasyonel yatırım yapabilme imkânı sunması, daha bilimsel yollarla portföy oluşturabilme ve yatırımcılara işlem kolaylığı sağlaması, modelin daha az kısıt sayısı ile çözüme girmesi ve normal dağılım varsayımı gerektirmemesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilebileceği ifade edilmiştir.

Konak ve Bağcı (2016) çalışmasında, FTSE 100 endeksi içerisinden rastgele seçilen 8 farklı hisse senedinin aylık verileri kullanılmıştır. Optimizasyon, Konno ve Yamazaki'nin doğrusal programlama modeline uygulanan Werners (1987) bulanık mantık yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modele teknik analiz yöntemlerinden fiyat/kazanç oranı ve tahsilat/dağıtım endeksi kısıt olarak eklenmiştir. Yapılan analiz sonucunda iki varlıktan oluşan optimal portföyün beklenen getirisi %0,1 portföyün riski ise %1 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Küçükbay ve Araz (2016) çalışmasında, Nisan 2009 - Mart 2015 tarihleri arasında BİST 100 endeksinde sürekli olarak yer alan 89 şirketin hisse senetlerinin aylık verileri kullanılmıştır. Çalışma, iki farklı dönemi kapsamaktadır. İlk dönem Nisan 2009 - Mart 2014 tarihlerini içermekte ve optimal portföylerin oluşturulmasında verilerin gözlemlendiği dönemdir. İkinci dönem Nisan 2014 - Mart 2015 tarihlerini içermekte ve oluşturulan optimal portföylerin performansının test edildiği dönemdir. Optimal portföyleri oluşturmak amacıyla hem doğrusal fiziksel programlama tekniği hem de bulanık hedef programlama tekniği kullanılmıştır. Oluşturulan portföyler "Sharpe performans kriteri" ile test edilmiştir. Bulanık hedef programlama modeli ile oluşturulan optimal portföy on iki hisse senedinden oluşmakta olup optimal portföyün getirisi %3,9 riski ise %8,9 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda bulanık hedef programlama modelinin daha başarılı olduğu ifade edilmekle birlikte doğrusal fiziksel programlama modelinin de iyi bir alternatif model olabileceği belirtilmiştir.

Pala ve Aksaraylı (2016) çalışmasında, Ocak 2005 - Ekim 2015 tarihleri arasında BİST30 endeksinde devamlı olarak yer alan 21 farklı hisse senedinin kâr payı ve sermaye oranlarına göre düzeltilmiş aylık getirileri kullanılmıştır. Çalışmada hem polinom hedef programlama hem de bulanık hedef programlama modelleri kullanılmıştır. Polinom hedef programlama ile ortalama varyans, ortalama varyans çarpıklık ve ortalama varyans çarpıklık basıklık modelleri ile optimal portföyler oluşturulmuştur. Bulanık hedef programlamayla da bulanık ortalama varyans, bulanık ortalama varyans çarpıklık ve bulanık ortalama varyans çarpıklık basıklık modelleri ile optimal portföyler oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarına göre portföy optimizasyonunda bulanık hedef programlamada kullanılan optimizasyon modellerinin genel olarak polinom hedef programlamada kullanılan modellerden daha iyi sonuçlar verdiği, bulanık hedef programlama kullanılarak bulanık ortalama varyans modeline göre beş hisse senedinden oluşan optimal portföyün ise %2,1'lik getiri ile en yüksek getiriyi sunduğu ifade edilmiştir.

Nakano vd., (2017) çalışmasında, Nisan 2003 - Mart 2016 tarihleri arasında 136 aylık periyotta, Tokyo Hisse Senedi Fiyat Endeksi, Tokyo Menkul Kıymetler Borsası GYO Endeksi, S&P 500 Endeksi, Morgan Stanley GYO Endeksi, FTSE Gelişmiş Kuzey Amerika Net Vergi Endeksi, FTSE Yükselen Toplam Getiri Endeksi, Barclays ABD 10 Yıllık Hazine Endeksi ve JPMorgan Gelişen Piyasalar Tahvil Endeksi olmak üzere sekiz farklı endeksin aylık getirileri kullanılmıştır. İlk olarak bu varlıkların her birine eşit ağırlıkta yatırım yapıldığı varsayılarak optimal bir portföy oluşturulmuştur. Daha sonra bu veriler üzerinde partikül filtreleme ve anomali tespiti ile birlikte bulanık programlamayla kurulan ortalama varyans modeli kullanılarak optimal portföyler oluşturulmuş ve oluşturulan portföylerin performansı Sharpe, Sortino ve Sterling oranları ile test edilmiştir. Analiz sonucunda önerilen modelin uluslararası finansal varlıklardan oluşturulan optimal portföyleri oluşturmada başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Wang vd., (2017) çalışmasında, NYSE (The New York Stock Exchange) işlem gören hisse senetleri içerisinden seçilen 30 adet hisse senedinin 1 Ocak 2014 -

31 Aralık 2014 tarihleri arasındaki günlük getirileri kullanılmıştır. Çalışmada hem bulanık mantık çok amaçlı portföy optimizasyon modeli hem de geleneksel çok amaçlı portföy optimizasyon modelleri uygulanarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yatırım dönemi üçe ayrılmıştır. İlk dönem "kötümser dönem" olarak adlandırılan piyasanın düşüş eğiliminde olduğu ayı piyasası, ikinci dönem "iyimser dönem" olarak adlandırılan ve piyasanın yükseliş eğiliminde olduğu boğa piyasası, üçüncü ve son dönem ise piyasanın nötr olduğu dönemdir. Ayı piyasasında oluşturulan portföy iki varlıktan oluşup portföyün beklenen getirisi 0,138, riski ise 0,07; boğa piyasasında oluşturulan portföy de iki varlıktan oluşup portföyün beklenen getirisi 0,145, riski ise 0,076 ve nötr olarak ifade edilen piyasada oluşturulan optimal portföy ise dört varlıktan oluşup portföyün beklenen getirisi 0,150, riski ise 0,079 düzeyinde gerçekleşmiştir. Analiz sonucunda bulanık mantık çok amaçlı portföy optimizasyon modelinin, geleneksel çok amaçlı portföy optimizasyon modellerine kıyasla daha başarılı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca önerilen modelin piyasanın yükseliş eğilimine girdiği veya nötr dönemlerde daha fazla getiri sunduğu, piyasanın düşüş eğiliminde olduğu dönemlerde ise daha düşük risk sunduğu ifade edilmiştir.

Yue ve Wang (2017) çalışmasında, Şangay borsasında işlem gören hisse senetleri içerisinden rastgele seçilen on iki adet hisse senedinin Ocak 2012 - Ocak 2015 tarihleri arasındaki haftalık verileri kullanılmıştır. Portföy optimizasyonu için bulanık mantık temelli yüksek momentler içeren üç farklı metot kullanılmıştır. Bunlardan ilki bulanık çok amaçlı ortalama varyans çarpıklık basıklık simetrik entropi metodu, ikincisi bulanık çok amaçlı ortalama varyans çarpıklık basıklık Shannon entropi metodu, üçüncüsü ise bulanık çok amaçlı ortalama varyans basıklık çarpıklık Yager entropi metodudur. Yüksek momentum modelleri ile optimal portföyler oluşturmuştur. Sonuç olarak bulanık çok amaçlı modellerin etkinliği ve verimliliği testi, olumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca modeller içerisinde bulanık çok amaçlı ortalama varyans çarpıklık basıklık simetrik entropi metodunun diğer metotlardan daha uygun çözümler sağladığı ifade edilmiştir. Önerilen model ile oluşturulan optimal portföy dokuz varlıktan oluşmakta olup portföyün getirisi 0,007 riski ise 0,001 düzeyinde gerçekleşmiştir.

2.2. Bulanık Mantık Dışındaki Modellerle Yapılan Portföy Optimizasyonu Çalışmaları

Bu bölümde bulanık mantık haricindeki portföy optimizasyonu modelleri ile yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalara yer verilmiştir. Burada yer alan çalışmaların ortak özellikleri her bir çalışmanın bulanık mantık dışındaki modellerle yapılması ve çalışmalarda genellikle birden fazla modelin kullanılarak karşılaştırmalı bir biçimde sunulmasıdır.

Farrell (1976) çalışmasında, S&P500 endeksinde yer alan ve bu endeksin piyasa değerinin %50'sine karşılık gelen 100 şirketin hisse senedi, iki farklı dönemde ele alınmıştır. İlk dönem 1961 ile 1969 yılları arası ve boğa piyasası olarak ifade edilen dönemin aylık verilerinden oluşmaktadır. İkinci dönem ise 1970 ile 1974 yılları arasında ayı piyasası olarak ifade edilen dönemin aylık verilerinden oluşmaktadır. Optimal portföyleri oluşturmak amacıyla hem tekli indeks modeli hem de çoklu indeks modeli kullanılmıştır. Tekli indeks modelinde piyasanın temsilcisi olarak aynı dönemlerde S&P425 sanayi endeksinin aylık verileri kullanılmıştır. Çoklu indeks modelinde ise dört farklı endeksin aylık verileri kullanılmıştır. Bunlar büyüme, döngüsellik, durgunluk ve petrol endeksleridir. İki model aracılığıyla oluşturulan portföylerin performansı hem S&P500 hem de yatırım fonları performansından daha iyi sonuçlar vermiştir. Çoklu indeks modeli ile tekli indeks modeli karşılaştırıldığında ise çoklu indeks modelinin portföy çeşitlendirmesini daha verimli şekilde oluşturduğu gözlemlenmiştir. Her iki modelle oluşturulan portföylerin beklenen getirileri birbirine yakın olmasına rağmen çoklu indeks modelinin daha düşük riskli portföyler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çoklu indeks modelinin, pratik portföy analizi sağlaması nedeniyle tercih edilebilir bir model olduğu ifade edilmiştir.

Konno ve Yamamato (2005) çalışmasında, Tokyo Borsasında TOPIX endeksinde yer alan 900 şirketin Şubat 1991 ile Kasım 2002 tarihleri arasındaki aylık verileri kullanılmıştır. Çalışmada ortalama varyans modelinin farklı bir türü olan ortalama varyans çarpıklık modeli ile TOPIX endeksinden daha performanslı bir portföy oluşturulmaya çalışılmıştır. Model tam sayılı programlama modeli ile çözümlenmiştir. Analiz sonucunda model ile oluşturulan portföyün performansının TOPIX endeksinin performansında daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Lai vd., (2006) çalışmasında, dünya çapında işlem gören dört büyük borsanın endeksleri olan Amerika Birleşik Devletlerinde S&P500, İngiltere'den FTSE 100, Japonya'dan NIKKEI 225 ve Hong Kong'dan HSI endekslerine yer verilmiştir. Veri seti 1 Ocak 1991 ile 31 Aralık 2002 tarihleri arasında günlük verilerden oluşan toplam 3131 gözlemden oluşmaktadır. Optimal portföyün oluşturulması amacıyla ortalama varyans çarpıklık basıklık modeli çerçevesinde polinom hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucunda yatırımcı tercihlerinin getiri istatistiklerinin çarpıklık ve basıklık gibi yüksek momentlerini etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca polinom hedef programlama modelinin yüksek momentlerin kullanıldığı modellerde portföy seçim sorununu çözebildiği ve optimal portföyü belirlemede başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Kardiyen (2008) çalışmasında, Haziran 2000 ile Aralık 2003 yılları arasında BİST50 endeksinde yer alan hisse senetlerinden rastgele seçilen 15 hisse senedinin aylık getirileri kullanılmıştır. Portföy optimizasyonu için ortalama varyans ve ortalama mutlak sapma modeli kullanılmıştır. Ayrıca BİST verisi ile yapılan bu çalışmanın genellenebilir nitelik taşıyıp taşımadığını tespit etmek için, farklı parametreler kullanılarak sonuçlarda meydana gelecek değişimleri incelemek amacıyla kapsamlı bir simülasyon modeli de kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ortalama varyans modeli ve ortalama mutlak sapma modeli ile elde edilen portföylerin getirilerinin birbirlerine çok yakın oldukları, ortalama varyans modeli ile elde edilen portföylerin ortalama mutlak sapma modeli ile elde edilen portföylerle ya aynı ya da daha küçük varyansa sahip oldukları görülmüştür. Simülasyon çalışması sonucunda elde edilen sonuçların ise gerçek veri çalışmasının sonuçlarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Riskten kaçan yatırımcı tipinin ortalama varyans modeli ile portföy seçimini gerçekleştirebileceği, riski seven yatırımcı tipinin ise ortalama mutlak sapma modeline göre portföy seçimini gerçekleştirebileceği ifade edilmiştir.

Kayalıdere ve Aktaş (2008) çalışmasında, Ocak 2004 ile Aralık 2007 dönemleri arasında iki farklı gözlem kümesi kullanılmıştır. Bu kümelerden ilki BİST tüm endekslerinde yer alan hisse senetlerinin aylık verilerinden oluşurken ikinci küme en yüksek işlem hacimli hisse senetlerinin aylık verilerinden oluşmaktadır. Optimizasyon için üç farklı model kullanılmıştır. Bunlar ortalama varyans modeli, tekli indeks modeli ve tekli indeks modelinin geliştirilmiş hali olarak bilinen Elton ve Gruber modelidir. Portföy optimizasyonu sonucunda oluşturulan portföyler Treynor, Jensen Alfa gibi performans ölçütleri ile karşılaştırılmıştır. BİST tüm endeksi kullanılarak oluşturulan portföyler içerisinde performans ölçütlerine göre en başarılı portföyün tekli indeks modeline göre oluşturulan portföy olduğu ifade edilmiştir. İkinci sırada ortalama varyans modeline göre oluşturulan portföyün, üçüncü sırada ise Elton ve Gruber modeline göre oluşturulan portföyün yer aldığı görülmüştür. Yüksek işlem hacimli hisse senedi kullanılarak oluşturulan portföylerin performans ölçütlerine göre sıralamalarına bakıldığında ilk sırada ortalama varyans modeliyle oluşturulan portföy, ikinci sırada Elton ve Gruber modeliyle oluşturulan portföy, son sırada ise tekli indeks modeliyle oluşturulan portföy yer almaktadır.

Estrada (2010) çalışmasında, etkin portföyler içerisinden hangisinin seçilmesi gerektiğine yönelik kullanılan geometrik ortalama modelinin, Sharpe oranı maksimizasyonuna göre neden daha az tercih edildiği analiz edilmiştir. Bu amaçla çalışmada Haziran 1998 ile Haziran 2008 dönemleri arasında 22 gelişmiş, 22 gelişmekte olan ülkenin borsa performansını gösteren MSCI endeksinin aylık verileri ile Amerika Birleşik Devletleri'nde işlem gören hisse senetleri, tahvilleri ve varlığa dayalı menkul kıymetlerin aylık verileri kullanılmıştır. Optimizasyon için geometrik ortalama modeli ve Sharpe oranı maksimizasyonu kullanılmıştır. Analiz sonucunda geometrik ortalama modelinin Sharpe oranı maksimizasyonuna göre daha kolay uygulanabilir bir model olduğu, kısa vade yerine uzun vadeye odaklandığı, model aracılığıyla belirlenen portföylerin daha az çeşitlilik gösterdiği, daha yüksek ortalama getiri sundukları ve yatırım yapılan sermayenin büyümesini sağladığı, ancak daha yüksek değişkenliğe sahip oldukları ifade edilmiştir. İlgili çalışmada "neden geometrik ortalama modelinin daha az tercih edildiği" sorusu için yeterli bir cevap bulunamadığı, kısa vade yerine uzun vadeye odaklanması ve bu yüzden model aracılığıyla seçilen portföylerin volatilitesinin yüksek olması yeterli ve geçerli bir sebep olmasa da cevabın bu sonuçlar olabileceği ifade edilmiştir.

Çalışkan (2010) çalışmasında, 2003 ile 2009 yılları arasında BİST30 endeksinde sürekli yer alan 17 şirkete ait hisse senedinin düzeltilmiş günlük verileri kullanılmıştır. Bu veriler üzerinde hem ortalama varyans modeli hem de Black ve Litterman modeli kullanılarak 13 farklı portföy oluşturulmuştur. Oluşturulan portföyler Sharpe, Treynor ve Jensen performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Black ve Litterman modeli ile oluşturulan portföylerin aynı beklenen getiri düzeyinde beta faktörlerinin, artık dalgalanma derecelerinin ve toplam riskin, ortalama varyans modeli ile oluşturulan portföylerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yatırımcıların piyasa ile ilgili beklentileri alçalan bir dönemi öngörüyorsa portföylerini ortalama varyans modeli ile oluşturmaları durumunda, daha fazla kazanç elde edebilecekleri ifade edilmiştir. Yatırımcıların piyasa ile ilgili beklentileri durağan, dalgalı ya da yükselen bir piyasaysa bu durumda Black ve Litterman modelini kullanarak portföylerini oluşturmaları durumunda daha yüksek kazanç elde edebilecekleri ifade edilmiştir.

Sayılgan ve Mut (2010) çalışmasında, Eylül 2000 ile Aralık 2008 dönemleri arasında BİST 100 endeksinde aralıksız yer alan 80 adet hisse senedinin aylık verileri kullanılmıştır. Ayrıca analizde risksiz faiz oranı olarak devlet tahvili ve hazine bonolarının yıllık bileşik faiz oranları aylığa çevrilerek kullanılmıştır. Çalışmada risk ölçütü olarak ortalama varyans modelindeki varyans ile birlikte yarı varyans ve alt kısmî moment risk ölçütleri de kullanılmıştır. Risk ölçütlerinin hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle optimizasyon işlemi genetik algoritma bazlı modellerle gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ortalama varyans modeli ile sayıca daha çok varlık içeren portföyler elde edildiği gözlenmiştir. Ortlama varyans ile en çok on altı varlık kullanılarak risk minimize edilebilirken, yarı varyans ve alt kısmî moment ölçütleriyle en fazla sekiz varlık kullanılarak riskin minimize edileceği ifade edilmiştir.

Pekkaya (2011) çalışmasında, BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin Ocak 2007 ile Haziran 2010 dönemleri arasındaki 42 aya ait verileri kullanılmıştır. Çalışmada ortalama varyans portföy optimizasyon modelindeki veri problemine, ARFIMA (Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average) ile hisse senedi beklenen getirisi ve FIGARCH (Fractionally Integrated Generalized AutoRegressive Conditionally Heteroskedastic) ile hisse senedi varyans öngörüsü yapılarak çözüm aranmıştır. Optimizasyon için iki farklı model kullanılmıştır. İlki risk minimizasyonuna dayalı ortalama varyans modeli, ikinci ise Sharpe oranı maksimizasyonudur. Sharpe oranı maksimizasyonuna göre oluşturulan optimum dinamik portföylerin getirisi %62,95 düzeyinde gerçekleşirken, ortalama varyans risk minimizasyonuna göre oluşturulan optimum dinamik portföyün getirisi ise %65,54 düzeyinde gerçekleşmiştir. Aynı dönemde BİST30 endeksinin getirisi ise %41,64 düzeyinde kalmıştır. Sonuç olarak ortalama varyans modeli ile oluşturulan portföyün daha başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Deng vd., (2012) çalışmasında, Mart 1992 ile Eylül 1997 tarihleri arasında Hang Seng endeksinde yer alan 31 hisse senedinin, DAX 100 endeksinde yer alan 85 hisse senedinin, FTSE 100 endeksinde yer alan 89 hisse senedinin, S&P 100 endeksinde yer alan 98 hisse senedinin ve Nikkei endeksinde yer alan 225 hisse senedinin haftalık verileri kullanılmıştır. Varlık sayısı kısıtlı ortalama varyans temelli portföy optimizasyonunu çözmek için parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre parçacık sürü optimizasyonunun özellikle düşük riskli yatırım portföyleri belirlemede başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Sarıkaya ve Tatlıdil (2013) çalışmasında, 1 Şubat 2013 ile 28 Şubat 2013 tarihleri arasında BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin günlük kapanış verileri kullanılarak üç farklı model ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ortalama varyans, minimum entropi ve maksimum entropi modelleri ile gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda ortalama varyans modelinin diğer iki modele göre hem daha az risk hem de daha fazla getiri sunduğu ifade edilmiştir. Maksimum entropi ve minimum entropi modelleri birbirlerine yakın sonuçlar vermekle birlikte maksimum entropi modelinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Yakut ve Çankal (2016) çalışmasında, BİST30 endeksinde yer alan hisse senetlerinin 2004 ile 2013 dönemleri arasında aylık kapanış fiyatları veri olarak kullanılmıştır. Ortalama varyans modeli ile hedef programlama ve çok amaçlı genetik algoritma modeli uygulanarak sekiz farklı getiri ve risk seviyesi için optimal portföyler oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda ortalama varyans modeli ile sekiz hisse senedinden oluşturulan portföyün, çok amaçlı genetik algoritma modeli ile beş hisse senedinden oluşturulan portföye göre daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Lwin vd., (2017) çalışmasında, portföy optimizasyonu için iki farklı zaman dilimi ve iki farklı veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti 01.03.2005 ile 20.02.2008 tarihleri arasında S&P 100'de yer alan 94 hisse senedinin günlük verileri kullanılmıştır. İkinci veri setinde ise 11.04.2013 ile 04.04.2014 tarihleri arasında S&P500'de yer alan 475 hisse senedinin günlük verileri kullanılmıştır. Portföy optimizasyonu için risk hesaplamalarında getirilerde aşağı yönlü sapmaları esas alan ortalama var modeli kullanılmıştır. Model kurulurken altı farklı kısıt kullanılmıştır. Bu kısıtlardan ilki portföyde yer alacak varlıkların sayısına sınır getirirken, ikinci kısıt portföyde yer alacak her bir varlığın maksimum ve minimum oranını belirlemektedir. Üçüncü kısıt yatırımcıların öznel tercihlerini modele dâhil etmek için kullanılmıştır. Dördüncü kısıt portföyde yer alacak varlıkların miktarının lot katları şeklinde olmasını gerektirir. Beşinci kısıt portföyde yer alacak varlıkların sektörlere dağıtılması gerekliliğini ifade ederken, altıncı ve son kısıt bu sektörlerin portföye dâhil edilecek varlıklarına oran olarak sınırlama getirmektedir. Bu kısıtlar altında ortalama var modeli ile gerçekleştirilen optimizasyon için üç farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar çok amaçlı evrim algoritması, hâkim olmayan sınıflandırmalı genetik algoritma ve kuvvetli pareto evrim algoritmasıdır. Analiz sonucunda çok amaçlı evrim algoritmasının diğer iki algoritmaya göre gerek süre olarak gerekse portföy performansı anlamında daha başarılı olduğu ve modelin karmaşık portföy optimizasyonlarında kullanılabileceği ifade edilmiştir.

3. BÖLÜM: BOĞA VE AYI PİYASALARINDA PORTFÖY OPTİMİZASYONU

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle araştırmanın amacı, önemi, kapsamı ve kısıtları açıklanmıştır. Daha sonra birim kök testleri, piyasa sınıflandırılmasında kullanılan rejim değişim modelleri ve son olarak portföy optimizasyonunda kullanılan bulanık mantık modeli hakkında bilgiler verilmiştir. Araştırmada kullanılan yöntemler tanıtıldıktan sonra analize konu olan veriler üzerinde birim kök testleri yapılmış, sonraki aşamada boğa ve ayı piyasasına esas olan rejimler belirlenmiş ve belirlenen rejimler için ayrı ayrı optimizasyon işlemleri gerçekleştirilip sonuçlar raporlanmıştır. Son olarak elde edilen bulgular değerlendirilip literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

3.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Optimal portföyü oluşturmakta amaç, belli bir risk düzeyinde beklenen getiriyi maksimize etmek veya belli bir getiri düzeyinde riski minimize etmektir. Ancak yatırımcıların risk ve getiri beklentileri boğa ve ayı piyasalarında farklılık arz edebilmektedir. Dolayısıyla yatırımcıların piyasanın yönüne göre optimal portföyleri oluşturabilecekleri ifade edilebilir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, boğa ve ayı piyasalarında portföy optimizasyonunun farklılık arz edip etmediğinin incelenmesidir.

Konu ile ilgili literatür taramasında bulanık mantık modeli ile yapılan portföy optimizasyonuna yönelik çok sayıda uygulamalı çalışmaya rastlanmıştır. Ancak modelin boğa ve ayı piyasalarında uygulanmasına yönelik çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışma diğerlerinden farklı olarak optimizasyon sürecini piyasanın yükseliş ve düşüş dinamiklerine göre oluşan boğa ve ayı piyasası koşulları altında incelemektedir. Ayrıca analizler iki boğa ve iki ayı piyasası için ayrı ayrı gerçekleştirilerek boğa ve ayı piyasaları kendi içinde de karşılaştırılmıştır. Bu eksende konu geniş bir çerçevede değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın yerli ve yabancı literatüre, piyasa yapıcılarına ve hisse senetlerine yatırım yapmayı planlayan yatırımcılara çeşitli katkılar sağlaması beklenmektedir. Çalışma döneminde konuyla ilgili lliteratür detaylı olarak incelenmeye çalışılmıştır. Özellikle sadece bulanık mantık ile değil diğer optimizasyon modellerini bir arada kullanan ve özellikle modeller arasında karşılaştırma yapan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca konuyla ilgili literatür incelendiğinde ayı ve boğa piaysası olarak ayrım gerçekleştirerek analiz gerçekleştiren sınırlı sayıda çalışmaya ulaşılabilmiştir. Bu çalışmada ise bu alana katkı sağlamak amaçlanmıştır. Yatırımcılar açısından, yatırım kararlarını verirken piyasaların yönüne göre nasıl bir pozisyon almaları gerektiğine dair fikir verecek bir çalışma olacaktır.

3.2. Araştırmanın Kapsamı ve Kısıtları

Bu çalışmada araştırma dönemi olarak Ocak 2000 ile Aralık 2016 tarihleri arası belirlenmiştir. Borsa İstanbul'a kote olma durumu ile ilgili tarihler arasında BİST 100 endeksi içerisinde varlığını kesintisiz sürdüren 58 şirketin hisse senetlerinin aylık frekanstaki verileri kullanılmıştır. Toplamda 203 dönem, 58 Şirket ve 11.774 gözlem sayısı ile analiz gerçekleştirilmiştir.

BİST 100 endeksi dışı hisse senetleri analize dâhil edilmemiştir. Dönemler yılın başı ve sonu olarak belirlenmiştir. Son olarak Ocak 2000 öncesi dönemler analize dâhil edildiğinde analize konu hisse senetleri sayısında azalma olduğundan Ocak 2000 öncesi dönemler analiz dışı bırakılmıştır.

3.3. Araştırma Soruları

Bu çalışmada aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmaktadır:

- BİST 100 endeksinin getirisi durağan özellik gösteriyor mu?
- BİST 100 endeksi getirisi doğrusallık arz ediyor mu? İlgili seri doğrusal değilse piyasada kaç farklı ve kaç adet rejim oluşmakta?
- Bulanık doğrusal programlama ile gerçekleştirilen optimizasyon başarılı mı?
- Boğa piyasalarındaki optimizasyon sonuçları benzerlik gösteriyor mu?

- Ayı piyasalarındaki optmizasyon sonuçları benrzerlik gösteriyor mu?
- Portföy optimizasyon sonuçları boğa ve ayı piyasalarında benzerlik gösteriyor mu?

3.4. Araştırmanın Yöntemi

Bu bölümde öncelikle piyasaları sınıflandırmak amacıyla piyasa göstergesi olarak kabul edilen BİST 100 endeksinin doğal logaritmik getirisi kullanılmıştır. Bu bağlamda ilgili serinin durağan olup olmadığını tespit etmede sıklıkla kullanılan Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin (KPSS), Genişletilmiş Dickey Fuller Testi (ADF) ve Phillips ve Perron (PP) birim kök testleri ile yeni nesil Perron (1989) ve Zivot ve Andrews (1992) yapısal kırılmalı birim kök testleri yapılmıştır. Daha sonra artan ve azalan piyasaları boğa ve ayı piyasası olarak sınıflandıran yöntemler değerlendirilmiş ve ilgili yöntemler içinde parametrik olarak en çok kullanılan Markov rejim değişim modeli ile boğa ve ayı piyasaları belirlenmiştir. Son olarak portföy optimizasyonu modelleri içinden tercih edilen bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. Birim Kök Testleri

Zaman serileri üzerinde analiz yapılırken temel varsayım, ilgili zaman serisinin durağan olmasıdır. Bir zaman serisinin ortalaması ve varyansı zaman içinde değişmiyorsa diğer bir ifade ile sabitse, aynı zamanda zaman serisinin iki dönem arasındaki kovaryansın bu iki dönem arasındaki uzaklığa bağlı olması durumunda durağanlık söz konusudur. Bir zaman serisi durağan değilse ortalaması ve varyansı zamana bağlı olarak değişmektedir (Gujarati ve Porter, 2009: 740-741). Bu durumda ortalamadan sapan ilgili zaman serisi, ortalamaya dönme eğilimi içerisinde olmayacaktır. Dolayısıyla zaman serisinin gelecek değerlerine yönelik tahminlerde sağlıklı sonuçlar vermeyecektir (Saraç vd., 2016:37). Zaman serileri analizleri daha çok geleceğe dair öngörüde bulunmak amacıyla kullanıldığı için durağan zaman serileriyle yapılacak tahminler istatistikî olarak daha anlamlı olacaktır. Aynı zamanda Granger ve Newbold (1974) çalışmasında durağan olmayan zaman serileriyle yapılacak ekonometrik çalışılmalarda sahte regresyon probleminin ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir. Bu bağlamda zaman serileri üzerinde analize başlamadan önce ilgili zaman serisinin durağan olup olmadığının birim kök testleri ile test edilmesi gerekmektedir (Enders, 1995:212). Bu çalışmada da zaman serilerinin durağan olup olmadığının tespitine yönelik birinci nesil birim kök testleri KPSS, ADF ve Phillips ve Perron (PP) ile yeni nesil Peron (1989) ve Zivot ve Andrews (1992) yapısal kırılmalı birim kök testleri kullanılmıştır.

3.4.1.1. Kwiatkowski Phillips Schmidt Shin Birim Kök Testi

Kwiatkowski vd. (1992) çalışmasında geliştirilen KPSS birim kök testinde temel amaç gözlemlenen zaman serisindeki deterministik trendi arındırarak zaman serisinin durağan olup olmadığını test etmektir (Kwiatkowski vd., 1992:159-178). KPSS testinin diğer birim kök testlerinden en temel farkı sıfır hipotezinin serinin durağan olduğu diğer bir ifade ile birim kök içermemesi üzerine kurulmuş olmasıdır. Alternatif hipotez ise serinin durağan olmadığını dolayısıyla birim kök içerdiğini ifade etmektedir (Greene, 2012:998).

KPSS testi, bir zaman serisinin trendinin durağan veya durağan düzeyde sıfır hipotezini temel alır. Bu teste göre, bir zaman serisi bir deterministik trend, bir tesadüfî terim ve bir sabit bozucu terim içerir. Test bir tesadüfî terimin sıfır varyansa sahip olduğu hipotezinin Lagrange Çarpanı (LM) testidir (Barışık ve Demircioğlu, 2006:75). Bu bağlamda KPSS testi ile LM testi benzer şekilde belirlenmektedir. LM testinde de sıfır hipotez rassal yürüyüşün sıfır varyans içerdiğini ve ilgili zaman serisinin deterministik trend, rassal yürüyüş ve durağan kalıntılar toplamından oluştuğunu ifade eden model aşağıdaki gibidir (Akıncı, 2008:58-59).

$$Y_t = \beta_t + w_t + \varepsilon_t \qquad (1)$$

$$w_t = w_{t-1} + u_t \qquad (2)$$

t deterministik trend, w tesadüfî etki, ε hata terimidir. Y’nin başlangıç değeri sabittir . ε sabit olduğu için trendi sabitin sıfır hipotezi sıfıra eşittir. β sıfıra eşitse sıfır hipotezi düzey seviyesinde durağandır.

ADF ve PP birim kök testleri gecikmelere karşı daha duyarlı olduğu için KPSS birim kök testi bu bakımdan diğer testleri tamamlayıcı bir testtir. Ayrıca KPSS birim kök testinin hem doğrusal zaman serilerinde hem de doğrusal olmayan zaman serilerinde birim kökün varlığını tespit etmede daha başarılı olduğu ifade edilmektedir (Telatar vd., 2002:65).

3.4.1.2. Genişletilmiş Dickey Fuller Testi

Genişletilmiş Dickey Fuller (ADF) testinin ilk hali olan Dickey Fuller (DF) testi Dickey ve Fuller (1979) çalışmasında ortaya konmuştur. Ancak DF testi modellerde ortaya çıkabilecek otokorelasyon sorununu çözmede yetersiz kalmaktadır. Bunun temel nedeni ise DF testinin temel varsayımının hata terimlerinin bağımsız ve aynı şekilde dağıtılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Dickey ve Fuller (1981) çalışmasında bu sorunu gidermek amacıyla bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerini de modele ilave ederek otokorelasyon sorununu gideren ADF testi geliştirilmiştir (Gujarati ve Porter 2009:757-758). ADF testi en genel haliyle ifade eden model aşağıdaki gibidir (Patterson, 2010:239):

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 + Y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} Y_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (3)$$

ε_t, ortalaması sıfır olan, varyansı sabit ve ardışık bağımlı olmayan olasılıklı hata terimidir. Birim kök testi için boş hipotez H_0: α_1 = 0 hipotezi, alternatif hipotez H1: α_1< 0 hipotezine karşı test edilmektedir. H_0 reddedildiği takdirde Y_t zaman serisi durağan olduğu, aksi durumda ise Y_t zaman serisinin durağan olmadığı kabul edilir (Barışık ve Demircioğlu, 2006:74).

ADF testi literatürde çok sık kullanılan bir birim kök testi olmasına rağmen birçok yönden eksik görülerek eleştirilmektedir. Zaman serilerinde yapısal kırılmaların olması, mevsimsellik etkisinin bulunması, çoklu birim kök durumu ve parçalı durağanlığın olması ADF testinin yetersiz kaldığı başlıca eleştiri noktası olmaktadır (Franses vd., 2014:94-102).

3.4.1.3. Phillips Perron Testi

ADF testi, hata terimlerinin istatistiksel olarak bağımsız olduklarını ve sabit varyansa sahip oldukları varsayımından hareket etmektedir (Asteriou ve Hall, 2011:345). Phillips ve Perron (1988) çalışmasında, hata terimlerine ilişkin daha esnek varsayımlara sahip bir ADF süreci oluşturulmuştur. Böylelikle ADF birim kök testi için hata terimlerindeki otokorelasyonu ve değişen varyansı dikkate alan parametrik olmayan bir test yöntemi geliştirilmiştir (Kırcı Çevik, 2012:103). PP testi aşağıdaki regresyon modeline dayanmaktadır (Bozdağlıoğlu, 2010:218):

$$\Delta Y_t = a + cY_{t-1} + d_1\Delta Y_{t-1} + d_2\Delta Y_{t-2} + \cdots + d_{p-1}\Delta Y_{t-p-1} + \varepsilon_t \qquad (4)$$

ΔY_t, Y serisinin ilk farkını; $a, c, d_1, d_2, \dots, d_{p-1}$, parametreleri; t, zamanı; p, gecikme sayısını ve ε_t, hata terimini göstermektedir. Sıfır hipotezi (H_0: c = 0) serinin durağan olmadığını gösterirken, alternatif hipotez ise ($H_{1:}$ c $\neq$ 0) , serinin durağan olduğunu ifade etmektedir.

PP testi, hata terimlerinin zayıf derecede bağımlı olmasına ve heterojen olarak dağılmasına olanak sağladığı için otokorelasyon sorunu giderilmektedir (Akıncı, 2008:57). ADF testi, hata terimlerinin bağımsız ve homojen olduğunu varsayarken, PP testi hata terimlerinin zayıf bağımlı ve heterojen dağılımlı olmasına imkân sağlamaktadır (Kutlar, 2000:170). PP testinin ADF testinden temel farkı, alternatif formların hiçbirinde bağımlı değişkenin gecikmeli değerlere yer vermemesidir. Böylelikle PP testi, ADF testinin t istatistiklerini geliştirmede hata terimleri ile ilgili varsayım sınırlamalarını dikkate almamaktadır (Enders, 1995:239). PP testi, ADF test istatistiğinden daha az varsayıma sahip olduğu için genellikle daha güvenilir olarak kabul edilir (Fabozzi vd., 2014:197). PP ve ADF birim kök testleri birbirlerinin eksiklerini tamamladıkları için durağanlık analizlerinde genellikle birlikte kullanılmaktadır.

3.4.1.4. Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testleri

Zaman serilerinde yapısal kırılmanın var olması halinde birinci nesil birim kök testlerinde, ilgili zaman sersinin durağan olduğunu ifade eden temel hipotez reddedilmektedir. Dolayısıyla zaman serilerinin bütünleşme dereceleri yanlış belirlenebilmektedir. Zaman serilerinde yapısal kırıklıklar dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde durağan olmayan zaman serileri durağan özellik gösterebilmektedir. Bu bağlamda zaman serilerinde yapısal kırıklığın varlığının test edilmesinde yapısal kırılmalı birim kök testleri kullanılmaktadır (Yıldırım, 2010:55). Bu çalışmada Peron (1989) ve Zivot Andrews (1992) yapısal kırılmalı birim kök testleri kullanılmıştır

3.4.1.4.1. Perron (1989) Birim Kök Testi

Nelson ve Plosser (1982) çalışmasında, zaman serilerinin durağan olması durumunda zaman serisinin uzun dönem ortalaması etrafında sabit varyansla dalgalanacağı; ancak zaman serisinin durağan olmama durumunda zaman serisinin ortalamaya dönme eğilimi içinde olmayacağı ve zamanla değişen varyansın söz konusu olacağı ifade edilirken durağan olmayan zaman serilerinde ortaya çıkan tesadüfî şokların kalıcı etkilere neden olacağı belirtilmiştir. Perron (1989) çalışmasında bu şokların, diğer bir ifade edilen yapısal kırılmaların, zaman serilerinin durağanlığı üzerindeki etkisi incelenmiş ve birinci nesil birim kök testlerinin, zaman serilerinde yapısal kırılmanın olması durumunda, birim kökün varlığını kabul eden temel hipotezi reddetmediği ifade edilmiştir.

Perron (1989) çalışmasında yapısal kırılmanın türüne göre değişen üç test modeli önerilmektedir. Birincisi zaman serisinin düzeyinde bir kırılma olanağı sağlayan çarpışma modeli, ikincisi serinin büyüme hızında bir kırılmaya izin veren büyüme değişimi modelidir. Son model ise her iki kırılmanın aynı anda meydana gelmesini ifade etmektedir (Brooks, 2014:366). Üç modele ait temel hipotezler aşağıdaki gibidir (Perron, 1989:1363-1364):

Model 1: $Y_t = \mu + dD(T_B)_t + Y_{t-1} + e_t$ (5)

Model 2: $Y_t = \mu_1 + Y_{t-1} + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + e_t$ (6)

Model 3: $Y_t = \mu_1 + Y_{t-1} + dD(T_B)_t + (\mu_2 - \mu_1)DU_t + e_t$ (7)

$D(T_B)_t = 1$ ise $t = T_B + 1$, $D(T_B)_t = 0$ ise $t \neq T_B + 1$ (8)

$DU_t = 1$ ise $t > T_B$, $DU_t = 0$ ise $t \leq T_B$ (9)

Modellerde Y_t zaman serisini, T_B kırılma zamanını, μ sabit terimi, e_t hata terimini $D(T_B)_t$, DU_t kırılma için kullanılan gölge değişkenleri ifade etmektedir. Modellerde temel hipotez ilgili zaman serisinde yapısal kırılmaya yol açan birim kökün varlığını ifade etmektir.

Perron (1989) çalışmasında, yapısal kırılmaların varlığı durumunda, kırılma tarihinin önceden bilinmekte olduğu ve testin bu bilgiyi kullanarak yapıldığı varsayılmaktadır (Brooks 2014:367). Perron (1989) birim kök testi, ADF regresyon eşitliğine, kırılmanın olduğu dönemler için bir, kırılmanın olmadığı dönemler için sıfır değerini alan kukla değişken ilave edilerek gerçekleştirilmektedir (Yılmaz ve Kaya, 2004:267).

3.4.1.4.2. Zivot Andrews (1992) Birim Kök Testi

Zivot ve Andrews (1992) çalışmasında, Perron (1989) çalışmasındaki dışsal kırılma noktası varsayımını eleştirerek tek içsel kırılma noktası varsayımı altında bütün zaman serisi ve mümkün olan her bir kırılma için farklı bir kukla değişken kullanan ardışık bir birim kök testini geliştirmiştir. Kırılma tarihi t istatistiğine dayalı ADF testinin birim kökünün minimum olduğu noktaya göre seçilir (John vd. 2007:67).

Zivot ve Andrews (1992) çalışmasında kırılma noktasının, ilgili zaman serisi verisine bağlı bir süreçte gerçekleştiği ileri sürülmüş ve yapısal kırılma döneminin olasılıklı kırılma dönemleri arasından seçilebileceği ifade edilmiştir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2007:428-429). Zivot ve Andrews yapısal kırılmalı birim kök testinde üç farklı model kullanılmaktadır. Birinci model düzeyde tek kırılmaya, ikinci model eğimde tek kırılmaya, üçüncü model ise hem eğimde hem de düzeyde tek kırılmaya izin veren modeldir. Bu modeller aşağıda verilmiştir (Zivot ve Andrews,1992: 254):

Model 1: $Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 DU_t + dD(T_B)_t + \beta t + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \phi_i \Delta Y_{t-i} + e_t$ (10)

Model 2: $Y_t = \alpha_0 + \gamma DT_t^* + \beta t + \rho Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \phi_i \Delta Y_{t-i} + e_t$ (11)

Model 3: $Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 DU_t + dD(T_B)_t + \gamma DT_t^* + \beta t + pY_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \phi_i \Delta Y_{t-i} + e_t$ (12)

$DU_t = 1$ ise $t > T_B$, $DU_t = 0$ ise $t \leq T_B$ (13)

$DT_t^* = t - T_B$ ise $t > T_B$, $DT_t^* = 0$ ise $t \leq T_B$ (14)

Modellerde Y_t zaman serisini, T_B kırılma zamanını, α sabit terimi, e_t hata terimini, $D(T_B)_t$, DU_t kırılma için kullanılan gölge değişkenleri, Δ birinci farkı ifade etmektedir.

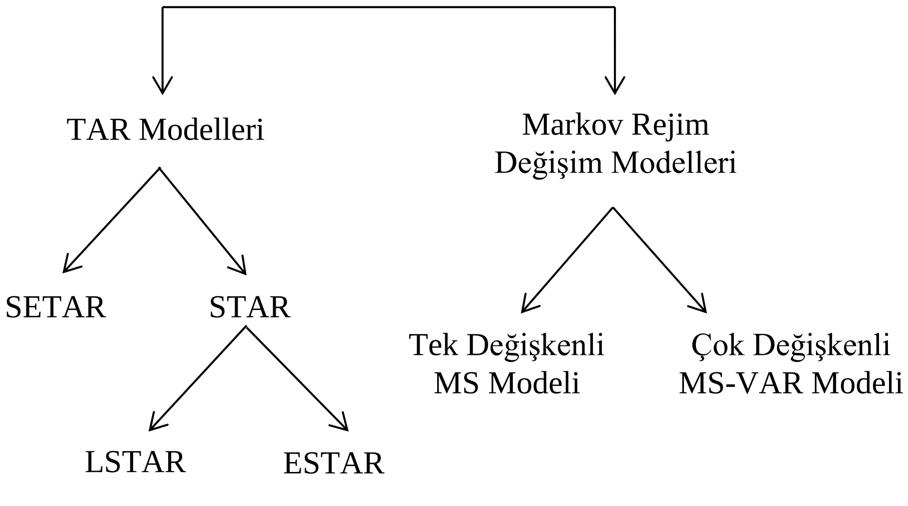
Kırılma tarihinin yaşandığı her bir gözlemde temel hipotezin testi için t istatistiği minimumdur. Üç modelin de temel hipotezi (H_0), birim kökün ve yapısal kırılmanın varlığını ifade ederken, alternatif hipotezler durağanlığı ifade etmektedir (John vd., 2007:67). Zivot ve Andrews birim kök testi kırılma zamanının bilinmediği durumlarda uygulanmakta iken Peron birim kök testi ise kırılma zamanının bilindiği durumlarda uygulanmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010:431).

3.4.2. Piyasaların Sınıflandırılması

Finansal piyasalarda yaşanan değişim trendleri çeşitli şekillerde adlandırılmaktadır. Boğa ve ayı piyasası kavramları da bu bağlamdaki tanımlamalardan biri olup piyasanın yönünü temsil eder. Boğa ve ayı piyasası olarak sınıflandırmanın çıkış noktası hakkında akademik kaynaklarda net bir bilgi bulunmamakla beraber, finans çevrelerinde en çok kabul gören açıklama bu hayvanların kurbanlarına saldırma biçimleridir. Boğaların saldırıları hakkında en belirgin özellikleri çarpma anında boynuzlarını havaya kaldırmaları, ayıların ise pençelerini aşağıya, avına doğru indirmeleridir (Aydoğan 2013:25).

Piyasaların boğa piyasası mı yoksa ayı piyasası mı olduğunu tespit etmek amacıyla ekonometrik ve ekonometrik olmayan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu bağlamda yapılan ekonometrik olmayan sınıflandırmalarda temel sayılabilecek çalışma Fabozzi ve Francis (1977) çalışmasıdır. İlgili çalışmada boğa ve ayı piyasası sınıflandırmasında üç farklı yaklaşım önerilmiştir. İlk yaklaşımda piyasalar aylarca yukarı yönlü olarak seyrediyorsa boğa piyasası, aylarca aşağı yönlü seyrediyorsa ayı piyasası olarak sınıflandırılmıştır. İkinci yaklaşıma göre aylık getiri pozitif ise boğa piyasası, aylık getiri negatif ise ayı piyasası oluşmaktadır. Üçüncü yaklaşımda ise aylık getirileri, aylık getirilerin standart sapmasının yarısından büyük olan aylar için boğa, küçük olanlar içinse ayı piyasaları oluşmaktadır. Kim ve Zumwalt (1979) çalışmasında ise piyasaları sınıflandırmak için ekonometrik olmayan farklı bir yaklaşım önerilmiştir. Buna göre piyasa portföyünün aylık getiri oranlarının, piyasa portföyünün ortalama getirisini, risksiz faiz oranını veya sıfırı aştığı aylar boğa piyasası oluşmakta, tersi durumda ise ayı piyasası oluşmaktadır. Sperandeo (1990) çalışmasına göre boğa piyasası, ortalamada yüksek getirinin oluştuğu bir dönemi bölen, bir önceki getiriye kıyasla daha düşük ancak ortalamayı arttıran getiri; ayı piyasası ise ortalamada düşük getiri oluştuğu bir dönemde, uzun dönemli daha düşük bir alt getiri olarak ifade edilmektedir. Konuya parametrik açıdan inceleme getiren ekonometrik yöntemler ise sayısal olarak seri ortalamasında seride oluşan anlık değişimlerin yönüne göre anlamlı bir fark oluşup oluşmadığını çeşitli varsayımlar altında incelemektedir. Bu bağlamda literatürde rejim değişim modelleri sıkça kullanılmaktadır. Bu modeller rejimin zaman içinde değişim durumuna göre ikiye ayrılmaktadırlar. Birinci tip modellerde rejimler, gözlemlenebilen bir değişkene bağlı olarak oluşmaktadır. Tong (1978) ve Tong ve Lim (1980) çalışmalarında geliştirilen eşikli otoregresif TAR (Thereshold Auto Regressive) modelleri bu kapsamdaki modellerdir (Franses vd., 2014:207). İkinci tip modellerde ise rejimler, gözlenemeyen rassal bir değişken tarafından belirlenmektedir. Markov rejim değişim modeli de bu kapsamda ele alınmaktadır (Kayhan vd., 2013:9). Şekil 3'te rejim değişim modelleri görülebilir:

Şekil 3: Rejim Değişim Modelleri



Tong (1978) çalışmasında literatüre kazandırılan ve AR (Auto Regressive) modelinin genelleştirilmiş hali olarak kabul TAR modeli, doğrusal olmayan zaman serisi modelleri kapsamında en çok tanınan modellerden biridir (Koç, 2008:7). TAR, finansal zaman serisi davranışlarında çevrim limitlerini, sıçrama olgusunu ve asimetriyi tespit etmede etkili bir model olarak kabul edilmektedir (Li ve Li

1996:255). TAR modeli de kendi içinde geçiş değişkeninin yapısına göre alt gruplara ayrılmaktadır. Rejim değişikliğine neden olan geçiş değişkeni, bağımlı değişkenin gecikmeli değeri ise içten kaynaklı eşik otoregresif model SETAR (Self-Exciting Thereshold Auto Regressive), geçiş değişkenin yapısı yumuşak ise model yumuşak geçişli otoregresif model STAR (Smooth Transition Auto Regressive) adını almaktadır. Tong (1983) çalışmasında geliştirilen SETAR modellerinde rejimler arasındaki geçiş zamana bağlı olarak değil de eşik değişkenin değerine bağlı olarak gerçekleşir. STAR modeli ise Chang ve Tong (1986) ve Terasvirta (1994) tarafından geliştirilmiştir. Modelde, bir eşik değer belirlenerek, zaman serisi iki ayrı doğrusal modele ayrıştırılmaktadır. Bu eşik değer, doğrusal olmayan modelleri parça parça doğrusallaştırmaktadır (Franses ve Dick, 2003:71-73). Ayrıca otoregresif (AR) model, eşik değerin koşullu değişkeni olarak tanımlanmaktadır (Gacener Atış, 2008:146-147). STAR modelinin de farklı geçiş fonksiyonlarından oluşan iki alt gruba ayrılmaktadır (Akgül vd., 2007:7). Seri, dengeden uzaklaştığında yeniden dengeye dönüşünde simetrik bir yapı gösteriyorsa üstel geçiş fonksiyonu eşik otoregresif model ESTAR (Exponantional Smooth Transition Auto Regressive), asimetrik bir yapı gösteriyorsa lojistik geçiş fonksiyonu eşik otoregresif model LSTAR (Lojistik Smooth Transition Auto Regressive) olarak adlandırılmaktadır (Koç, 2008:11).

Bu çalışmada piyasaların sınıflandırılması için tercih edilen yöntem Markov rejim değişim modelidir. Markov rejim değişim modelinin tercih edilmesinin temel nedeni rejim değişikliğinin TAR, STAR ve SETAR modellerine kıyasla herhangi bir zaman diliminde hangi rejimde bulunacağının olasılığını vermesidir (Açıkgöz, 2008:142). Diğer bir neden ise modelin farklı rejim özelliklerine göre verilerin dalgalanmalarının dönüm noktaları ve dalgalanma dönemlerinde bulunulan süre gibi dalgalanma özellikleri hakkında da bilgi sağlamasıdır (Altuğ ve Bildirici, 2010:4).

Markov rejim değişim modeli Hamilton (1989) çalışmasında geliştirilen tek değişkenli Markov rejim değişim modeli ile literatüre kazandırılmış, Krolzig (1997) çalışmasında çok değişkenli analizlere de uyarlanmasıyla geniş bir alanda kullanım imkânı sağlamıştır (Koy vd., 2016:32). Markov rejim değişim modelinin temel mantığı, bir Markov zinciri ile bir rejimden diğerine geçişe neden olan stokastik süreci açıklamaktır. Markov zinciri, hangi rejimin mevcut olduğunu belirleyen ve doğrudan gözlemlenemeyen bir durum değişkeninin ya da değişkenlerin kombinasyonunun davranışını modellemek için kullanılır (Bildirici vd., 2010). Hamilton (1989) çalışmasında, ekonominin daralma ve genişleme dönemleri diğer bir ifadeyle rejimleri, gözlenemeyen ve tamsayı değeri alan s_t tesadüfî değişkenine göre hesaplanmaktadır (Brooks, 2014:502). Bu amaçla Hamilton (1989) çalışmasında geliştirilen 2 rejimli MSA-AR(p) modeli aşağıdaki gibidir:

$$y_t = \begin{Bmatrix} \phi_{1,0} + \phi_{1,1}y_{t-1} + \cdots + \phi_{1,p}y_{t-p} + \varepsilon_t \;\; eğer\; (s_t = 1) \\ \phi_{2,0} + \phi_{2,1}y_{t-1} + \cdots + \phi_{2,p}y_{t-p} + \varepsilon_t \;\; eğer\; (s_t = 2) \end{Bmatrix} \tag{15}$$

$$y_t = \phi_{0,s_t} + \phi_{1,s_t}y_{t-1} + \cdots + \phi_{p,s_t}y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{16}$$

y_t: Zaman serisi değişkeni

ϕ: Rejimlere ait otoregresif gecikme parametreleri

s_t: Rejimlerin değerleri

p: Modelin otoregresif derecesi

ε_t: Hata terimleri

Markov rejim değişim modelinde, rejim değişkeni olan s_t doğrudan gözlemlenememekte, ancak finansal zaman serisi olan y_t gözlemlenebilmektedir. Gözlemlenebilen y_t zaman serisinin özellikleri, gözlemlenemeyen s_t rejim değişkenine bağlıdır (Krolzig 1997:11).

Markov rejim değişim modeli temelde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar rejimin koşullu ortalamaya (μ_t) göre değiştiği (MSM) ve sabite (c_{st}) göre değiştiği (MSI) modelleridir. y_t'nin ortalamasının ve AR parametrelerinin rejim ile birlikte değiştiğini ifade eden model aşağıdaki gibidir (Koy, 2016:178):

$$y_t - \mu_t = \phi(y_{t-1} - \mu_{t-1}) + \mu_t \tag{17}$$

Sabitin ve AR parametrelerinin rejimle birlikte değiştiğini ifade eden model ise aşağıdaki gibidir:

$$y_t - c_{st} = \phi y_{t-1} + \mu_t \tag{18}$$

İki rejimli bir modelde rejimler arası ilişkileri açıklayan Markov rejim değişim modeli ise aşağıdaki gibidir (Hamilton, 1994:678):

$$P\{s_t = j|s_{t-1} = i\} = P\{s_t = j|s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots\} = p_{ij} \tag{19}$$

İki rejimli bir modelde rejimler arası geçiş olasılıklarını ifade eden modeller ve rejim geçiş olasılıkları matrisi ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$Pr[s_t = 1|s_{t-1} = 1] = p_{11} = p \tag{20}$$

$$Pr[s_t = 0|s_{t-1} = 1] = p_{10} = 1 - p \tag{21}$$

$$Pr[s_t = 0|s_{t-1} = 0] = p_{00} = q \tag{22}$$

$$Pr[s_t = 1|s_{t-1} = 0] = p_{01} = 1 - q \tag{23}$$

$$P = \begin{bmatrix} q & 1-q \\ 1-p & p \end{bmatrix} \tag{24}$$

Rejimler arasındaki geçiş olasılıklarını ifade eden değerler (p_{11}, p_{10}, p_{00}, p_{01}) pozitif olmalı ve toplamları da bire eşit (p_{11} + p_{10} = 1 ve p_{00}+ p_{01} = 1) olmalıdır (Franses ve Dijk, 2000:82).

Krolzig (1997 ve 1998) çalışmasında Markov değişim vektör otoregresif (MSVAR) modellerini sınıflandırmış ve bu modelleri çok değişkenli serilere uyarlayarak Markov rejim değişim modelinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu bağlamda Krolzig (1997) çalışmasında literatüre kazandırılan MS-VAR modelleri sabit katsayının veya ortalamanın rejime bağlı olup olmamasını diğer bir ifade ile rejime göre değişkenlik gösterip göstermemesine göre iki ana gruba ayrılmaktadır. (Türkmen 2017:130). MS-VAR modelleri otoregresif parametrelerin rejimlere göre değişip değişmediği ve hata terimlerinin değişen varyans özelliği taşıyıp taşımadığına göre de alt gruplara ayrılmaktadır (Koy vd., 2016:32). Bu kapsamda MS-VAR modelleri aşağıdaki Tablo 16'da görülebilir.

Tablo 16: MS-VAR Modelleri

		MSM	MSI		
		μ Değişir	μ sabit	v değişir	v sabit
A_j sabit	Σ sabit	MSM-VAR	Doğrusal VAR	MSI-VAR	Doğrusal VAR
	Σ değişir	MSMH-VAR	MSH-MVAR	MSIH-VAR	MSH-VAR
A_j değişir	Σ sabit	MSMA-VAR	MSA-MVAR	MSIA-VAR	MSA-VAR
	Σ değişir	MSMAH-VAR	MSAH-MVAR	MSIAH-VAR	MSAH-VAR
M (Markov değişim ortalaması), I (Markov değişim sabiti), A (Otoregresif parametre), H (Değişen varyans)					

Kaynak: (Krolzig, 1997:14)

Sabit içeren modeller (MSI) ile ortalama içeren modeller (MSM) arasındaki temel fark rejim geçişlerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Sabitli modellerde rejimler arası geçişler daha yumuşaktır. Dolayısıyla bu tip modellerde bir rejim değişiminden sonra yeni seviyeye yavaşça ulaşmaktadır. Ortalama içeren modeller ise rejimler arası geçişler daha keskindir. Bu bağlamda bu tip modellerde bir rejim, değişiminden sonra yeni seviyesine bir kerelik sıçrama ile ulaşmaktadır (Krolzig, 1998:6).

3.4.3. Bulanık Mantık

Mantık, doğru ve düzgün düşünme sürecini inceleyen bir disiplindir. Mantığı bir disiplin olarak ele alan ilk kişi Aristoteles'dir. Aristo mantığı olarak da ifade edilen klasik mantık tümdengelimcidir. Klasik mantık bir önermeyi doğru ve yanlış olarak nitelemektedir. Arada gri alan bulunmamaktadır (Paksoy, vd., 2013). Ancak Platon doğru ve yanlışın iç içe girdiği üçüncü bir durumun olabileceğini belirterek klasik mantığın bir adım ötesine geçmiş ve "çok değerli mantık" olarak ifade edilen mantığın temellerini oluşturmuştur. Çok değerli mantığın asıl gelişme göstermeye başladığı dönem Lukasiewicz (1917) çalışmasıyla başlamıştır. Lukasiewicz (1917) bir önermenin doğru, yanlış veya belirsiz olabileceğini ifade ederek üç değerli mantığı literatüre kazandırmış aynı zamanda çok değerli mantık çalışmalarına öncü olmuştur (Başkaya, 2011).

Bulanık mantık kavramı, yapay zekâ çalışmalarının bir alt dalı olarak incelenmektedir. Aristoteles'in bir önermenin doğru veya yanlış olabileceği üçüncü bir alternatifin olamayacağı şeklinde ifade ettiği iki değerli mantık önermesine karşı, üçüncü, dördüncü vb. seçeneklerin olabileceğini ifade eden çok değerli mantık çalışmalarının bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır (Birgili vd., 2013:121). Zadeh (1965) çalışması bulanık mantık modeli alanındaki ilk çalışmalardan biri olup ilgili çalışmasında bulanık mantığı, dar anlamda yaklaşımsal uslamlama biçimlendirmesi olarak mantık sistemine fayda sağlayan bir yapı, geniş anlamda ise bulanık küme teorisinin eş anlamlısı olarak tanımlamıştır. Model bir olay hakkında kesin ve net bilgiye ulaşılamadığı durumlarda doğru karar verilmesine yardımcı olur. Bulanık mantık insan düşünüş tarzını esas alır (Şen, 1999:6).

Bulanık mantık, yaklaşık akıl yürütmenin mantığıdır. Bu mantığı diğer mantıklardan ayıran en temel özellik üçüncünün olmazlığı ve çelişmezlik ilkesinin bulanık mantıkta geçerli olmamasıdır (Baykal ve Beyan, 2004:39). Bulanık mantık, çok değerli mantık ile belirsizlik altında akıl yürütmenin birleştirildiği mantıksal bir sistemdir. Çok değerli mantığı, geleneksel mantıktan ayıran temel özellik ise önermelerin tamamen doğru, tamamen yanlış veya kısmen doğru, kısmen yanlış olduğunun kabul edilmesidir (Özkan, 2003:122).

Bulanık mantık iki durumda geçerlidir. Birincisi üzerinde çalışılan konunun çok karmaşık olduğu ve o konuyla ilgili yeterince bilgi ve verinin olmaması nedeniyle kişilerin görüş ve değer yargılarına başvurulduğu durumlar; ikincisi ise insanların kavrayış ve yargısına gerek duyulan durumlardır (Baykal ve Beyan, 2004:39).

3.4.3.1. Bulanık Küme

Nesneler hakkındaki bilgilerin düzenlenmesi, özetlenmesi ve genelleştirilmesi amacıyla çoğunlukla küme kavramı kullanılır. Dolayısıyla ele alınan bir konu için sistematik olarak toplanan bilgiler küme terimiyle bir araya getirilir. Geleneksel küme kavramı bir ögenin, o kümenin elemanı olması veya olmaması gibi iki seçenekli mantığa dayanır ve sayısal olarak “0” ve “1” ile ifade edilir. Burada “0” üye olmamayı, “1” ise üye olmayı belirtir. Geleneksel kümelerde, kümenin elamanları olanlar ile olmayanlar arasındaki ayrım, sert ve esnek olmayan bir yapıdadır. Bu tür kümelerde küme üyelikleri arasındaki geçiş 0’dan 1’e ve 1’den 0’a şeklinde keskindir (Özkan, 2003:2-4).

Bulanık kümeler kuramının temelinde, olabilirlik yatmaktadır. Geleneksel kümede olduğu gibi bir ögenin o kümenin elmanı olup olmaması şeklinde iki seçenek yoktur (Zimmermann, 1991:110). Bulanık küme, farklı üyelik derecesinde ögelere sahip olan bir topluluktur. Geleneksel küme kavramındaki siyah veya beyaz ikili üyelik kavramı yerine, siyah ve beyaz arasında kalan gri bölgeyi derecelendirerek üyelik kavramını genelleştirir. Klasik kümede üyelik "0" veya "1" ile derecelendirilirken, bulanık kümede ise "0" ile "1" arasındaki değerlerle de derecelendirilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004:75).

3.4.3.2. Bulanık Doğrusal Programlama Modeli

Klasik doğrusal programlama modelleri, değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu (maksimum veya minimum) gerçekleştirmeye çalışır. Klasik doğrusal programlama modellerinde, amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesinin karar vericiyi tatmin edip etmediğinin bir önemi yoktur (Özkan, 2003: 161-162). Bulanık doğrusal programlama modelinde ise amaç, en yüksek üyelik derecesine sahip optimal karara ulaşmaktır. Model amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapmak yerine, amaç fonksiyonunun karar vericiyi belirli bir tatmin derecesi ile tatmin eden yaklaşım tarzıyla problemleri inceleyen daha gerçekçi bir yaklaşımdır (Tuncel, 1997:45-48).

Bulanık doğrusal programlama modeli, doğrusal programlama modeli ve bulanık mantık özelliklerini içeren ve klasik doğrusal programlama modelinin genişletilmiş ve bulanıklaştırılmış bir hâlidir. Bulanık doğrusal programlama modeli, doğrusal programlama tekniğiyle çözülebilen; ancak karar sürecinde görülen belirsizlikler nedeniyle kullanılan bir yöntemdir (Hansen, 1996: 32; Çevik ve Yıldırım, 2010: 18). Bulanık doğrusal programlama modelinde problemlerin çözümünde doğrusal programlamanın aksine, amaç ve kısıtlayıcılarda kesinlik içermeme varsayımının sağlanması gerekir. Böylelikle bulanık doğrusal programlama modeli, hem amaç fonksiyonu hem de kısıtlarda öznel ihtiyaçların olduğu problemlere, doğrusal programlama modelini uygulamak için büyük bir esneklik sağlamıştır (Zhang vd., 2003:384).

Bulanık doğrusal programlama modelleri ile klasik doğrusal programlama modelleri arasındaki temel fark, modeldeki bulanık parametreleri göstermek için " ~ " simgesinin kullanılması ve bulanıklığın olduğu kısımlar için [0,1] aralığında tanımlı bir üyelik fonksiyonunun belirlenmesidir. Örneğin, “ $\lesssim$ ” yaklaşık olarak daha küçük veya eşit, “ $\cong$ ” yaklaşık olarak eşit, “ $\gtrsim$ ” yaklaşık olarak daha büyük veya eşit gibi kesinlik içermeyen anlamlar ifade etmektedir. Genel olarak bir bulanık doğrusal programlama modelinin amaç ve kısıtlayıcılarının bulanık olduğu varsayıldığında en genel haliyle gösterimi aşağıdaki gibidir (Gülcan, 2012:63):

Amaç fonksiyonu:

$$\max Z = \sum_{j=1}^{n} \tilde{r}_j x_j \tag{25}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i \; (i = 1,2, \dots \dots \dots m) \;\; x \geq 0 \tag{26}$$

Bulanık doğrusal programlama modelinde, üç farklı çözüm yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlar Verdegay (1982), Zimmermann (1983) ve Werners (1987) yaklaşımlarıdır. Verdegay (1982) yaklaşımında, bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik derecesi belirlenmemektedir. Ayrıca amaç fonksiyonu da kısıtlar gibi değerlendirilmediğinden çözüm biçimi simetrik değildir. Zimmermann (1983) yaklaşımında ise maksimum ve minimum üyelik dereceleri karar vericiye sorularak oluşturulmaktadır. Werners (1987) yaklaşımında ise maksimum ve minimum üyelik derecelerinin karar verici tarafından oluşturulmasının doğru olmayacağı, bu işlemin max-min işlemi kullanılarak yapılması gerektiği ifade edilmiştir (Verdegay, 1982; Werners, 1987; Zimmermann, 1991). Max-min işlemi ile üyelik derecesinin oluşturulması Werners (1987) yaklaşımının, diğer yaklaşımlara göre daha çok tercih edilmesini sağlamıştır.

Bulanık doğrusal programlama modeli portföy optimizasyonlarına yönelik uygulama kısmında Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonunun bulanıklaştırılması sonucu Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli bulanık kaynaklı Konno Yamazaki doğrusal programlama modeline dönüşür. Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeline Werners (1987) yaklaşımının uygulanmasıyla oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Kocadağlı, 2006:133).

Amaç Fonksiyonu:

$$MinZ \sum_{t=1}^{T} \frac{y_t}{T} \tag{27}$$

Kısıt 1:

$$y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T \tag{28}$$

Kısıt 2:

$$y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T \tag{29}$$

Kısıt 3:

$$\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau \quad \alpha \in [0,1] \tag{30}$$

Kısıt 4:

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = M_0 \tag{31}$$

Model aracılığıyla $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere, model portföy optimizasyonu için uygulandığında portföyün beklenen getirisinin farklı memnuniyet seviyelerine göre çözülerek belirlenen memnuniyet seviyesinde hangi hisse senetlerine ne kadar oranda yatırım yapılması gerektiği tespit edilebilir. Bu aşamada belirli bir memnuniyet seviyesine karşılık gelen beklenen hedef getiri ve risk değerleri belirlenebilir. Ancak model, çeşitli getiri ve risk kombinasyonları arasından optimal portföyün belirlenmesi için tam olarak çözüm sunamamaktadır. Bu bağlamda model öncelikle ρM_0 $(\alpha = 0{,}1)$ ve $\rho M_0 + \tau$ $(\alpha = 1)$ beklenen getiriler için çözülerek Z^0 ve Z^1 amaç fonksiyonu değerleri bulunur. Modeldeki beklenen getiri düzeyi arttıkça risk de artacağından $Z^1 > Z^0$ olacaktır. Z^0ve Z^1 değerlerinin kullanılmasıyla oluşturulacak üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Kocadağlı, 2006:134):

$$\mu_z(x) = \begin{Bmatrix} 1, & Z < Z^0 \\ 1 - [Z - Z^0]/Z^1 - Z^0, & Z^0 \leq Z \leq Z^1 \\ 0, & Z > Z^1 \end{Bmatrix} \tag{32}$$

$$\mu_k(x) = \begin{Bmatrix} 0, & \sum_{j=1}^{n} r_j x_j < \rho M_0 \\ \left[\sum_{j=1}^{n} r_j x_j - \rho M_0\right]/\tau, & \rho M_0 \leq \sum_{j=1}^{n} r_j x_j \leq \rho M_0 + \tau \\ 1, & \sum_{j=1}^{n} r_j x_j > \rho M_0 + \tau \end{Bmatrix} \tag{33}$$

Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu ($\mu_k(x)$) ile amacın üyelik fonksiyonunun $\mu_z(x)$, max-min operatörü kullanılmasıyla oluşturulan bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibi gösterilebilir (Wang, 1997:385).

Amaç fonksiyonu:

$$Max\ \alpha \quad (\mu_z(x) \geq \alpha,\ \mu_k(x) \geq \alpha,\ x \geq 0,\ \alpha \in [0,1]) \tag{34}$$

Kısıt 1:

$$\sum_{t=1}^{T} y_t/T + \alpha(Z^1 - Z^0) \leq Z^1 \tag{35}$$

Kısıt 2:

$$y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj}x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T \tag{36}$$

Kısıt 3:

$$y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj}x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T \tag{37}$$

Kısıt 4:

$$\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau \quad \alpha \in [0,1] \tag{38}$$

Kısıt 5:

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = M_0 \tag{39}$$

$$(0 \leq x_j \leq \mu_j,\ \ y_t \geq 0)$$

Modelin kullanılmasıyla kabul edilebilir bir memnuniyet seviyesinde ($\alpha \in [0,1]$) hangi hisse senetlerine hangi oranda yatırım yapılacağı hesaplanabilir. Modelde kullanılan parametrelerin neyi ifade ettiği aşağıda belirtilmiştir:

T : İncelenen dönem sayısı,

t : T dönemi içindeki herhangi bir t. dönem,

ρ : Beklenen getiri oranı,

r_j : j. hisse senedinin ortalama getiri oranı,

r_{jt} : j hisse senedinin t döneminde gerçekleşen getiri oranı

a_{tj} : j. hisse senedinin riski ($r_{jt} - r_j$)

x_j : j. hisse senedine yapılan yatırımın payı,

μ_j : j. hisse senedine yapılan yatırımın üst sınırı,

M_0 : Toplam yatırım miktarı,

ρM_0 : Beklenen getiri miktarı,

y_t : Yardımcı değişken,

τ : Beklenen getirinin önceden bilinen tolerans değeri

α : Memnuniyet seviyesi

3.5. Markov Rejim Değişim Modeli ile Boğa ve Ayı Piyasalarının Belirlenmesi

Portföy oluşturma süreci dinamik bir süreç olduğundan etkin portföyleri belirlerken piyasadaki gelişmelerin de takip edilmesi gerekir. Çünkü piyasalarda meydana gelen değişimler, finansal varlıkların getirilerini de etkilemektedir. Kocadağlı ve Keskin (2015) çalışmasında ifade edildiği üzere, piyasalar yükseliş trendine girdiğinde piyasa ile birlikte hareket eden finansal varlıklar daha çok tercih edilecekken, piyasalar düşüş trendine girdiğinde ise tam tersine piyasalarla birlikte hareket etmeyen varlıklar tercih edilecektir. Bu nedenle portföy oluşturma sürecinde piyasalarda meydana gelen değişimlerin diğer bir ifadeyle oluşacak rejimlerin de belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Tu (2010) çalışmasında da yatırımcıların portföy kararlarında piyasada oluşan rejimlerin etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda çalışmada öncelikle piyasa sınıflandırılmasını gerçekleştirmek amacıyla piyasa göstergesi olarak kabul edilen BİST 100 endeksinin Ocak 2000 ile Aralık 2016 tarihleri arasında aylık doğal logaritmik getirilerinden yararlanılmıştır. Hamilton (1919) çalışmasında boğa ve ayı piyasası olarak tanımlanacak dönemlerin belirlenmesinde en az 3 haftalık süre içermesi gerektiği ifade edilmiştir (Pagan ve Sossounov 2003:25). Fabozzi ve Francis (1977) ve Kim ve Zumwalt (1979) çalışmalarında da boğa ve ayı piyasalarını belirlemek amacıyla aylık veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada da literatürün ışığında aylık verilerden yararlanılmıştır. Bu bağlamda BİST 100 endeksinin aylık doğal logaritmik getirilerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	**LnBİST 100 Getiri**	**BİST 100 Endeksi**
Ortalama	0,008	44.611,16
Medyan	0,009	43.770,78
Maksimum	0,433	88.945,82
Minimum	-0,437	7.625,87
Standart Sapma	0,104	25.468,97

Verilerin temel istatistiklerine yer verilen Tablo 17 incelendiğinde; BİST 100 endeksi serisinin maksimum 88.945,82 ile minimum 7.625,87 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Verinin ortalaması 44.611,16, medyan değeri 43.770,78 ve standart sapması ise 25.468,97'dir.

Zaman serilerinde Markov rejim değişim modelinin uygulanabilmesi için zaman serisinin durağan özellik taşıması gerekir (Kayhan vd., 2013:202). Serilerin durağan olup olmadığının diğer bir ifade ile birim kök içerip içermediğinin tespiti için birim kök testleri kullanılmıştır. Bu bağlamda BİST 100 endeksinin doğal logaritmik getiri serisinin birim kök içerip içermediğinin tespitine yönelik KPSS, ADF ve PP birim kök testleri sonuçları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18: Birim Kök Test Sonuçları

Birim Kök Testleri	Model	Kritik Değer
KPSS	Sabitli	0,056
	Sabitli ve Trendli	0,054
ADF	Sabitli	-16,448*
	Sabitli ve Trendli	-16,406*
PP	Sabitli	-16,490*
	Sabitli ve Trendli	-16,448*

*: % 1 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 18'de yer alan birim kök test sonuçları incelendiğinde analize konu olan veri setinin %1 önem seviyesinde birim kök içermediği diğer bir ifade ile durağan özellik taşıdığı görülmektedir. KPSS testinin boş hipotezi diğer testlerden farklı kurulmaktadır. Boş hipotez zaman serisinin durağan olduğunu ifade ederken, alternatif hipotez zaman serisinin durağan olmadığını ifade etmektedir. Tablo 19'da yer alan sonuçlara bakıldığında KPSS test sonuçları boş hipotezi (H_0: Zaman serisi durağandır) kabul etmektedir. % 1 önem seviyesinde ADF ve PP testleri de KPSS test sonuçlarını desteklemekte ve veri setinin birim kök içerdiğini ifade eden boş hipotezi reddedip alternatif hipotez olan veri setinin birim kök içermediğini dolayısıyla veri setinin durağan özellik taşıdığını ifade etmektedir. İlgili zaman serilerinde üzerinde gerçekleştirilen yapısal kırılmalı birim kök testlerine ilişkin sonuçlar ise Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19: Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi Sonuçları

Birim Kök Testleri	Model	Kritik Değer
Perron (1989)	Sabitli	-16,490*
	Sabitli ve Trendli	-16,768*
Zivot Andrews (1992)	Sabitli	-16,648*
	Sabitli ve Trendli	-16,759*

*%1 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 19'da Perron (1989) ile Zivot ve Andrews (1992) yapısal kırılmalı birim kök test sonuçlarına bakıldığında, %1 önem seviyesinde veri setinin birim kök içerdiğini ifade eden boş hipotezi reddedip, veri setinin birim kök içermediğini ifade eden alternatif hipotezi kabul etmektedir. Sonuç olarak ilgili veri seti durağan özellik taşımaktadır.

Analize konu olan BİST 100 endeksi veri setinin durağan özellik taşıması, ilgili veri setinin piyasa sınıflandırılmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Buna göre Markov rejim değişim modeli kullanılarak ilgili veri setinin boğa ve ayı piyasa dönemleri belirlenebilir. Öncelikle uygun otoregresif gecikme döneminin ve MS (Markov Switching) modelinin belirlenmesi amacıyla doğrusal olmama şartını sağlayan, geçiş matrisleri ve sağlamlılık testleri anlamlı olan Markov rejim değişim modelleri Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20: Markov Rejim Değişim Modelleri Sonuçları Tablosu

Model	Log-likelihood	AIC	LR	Davies
MSIH 2 (1)	**196,431**	**-1,876**	**45.952***	**0,000**
MSIH 2 (2)	196,563	-1,867	46,368*	0.000
MSIH 2 (3)	195,666	-1,857	46,317*	0,000
MSIH 2 AR 1	197,363	-1,875	45,932*	0,000
MSIH 2 AR 2	196,539	-1,867	46,319*	0,000
MSIH 2 AR 3	195,659	-1,857	46,303*	0,000
MSIH 2 AR 1 (1)	196,422	-1,875	46,596*	0,000
MSIH 2 AR 2 (1)	195,586	-1,867	47,111*	0,000
MSIH 2 AR 1 (2)	195,468	-1,875	47,372*	0,000
MSIH 2 AR 2 (2)	195,452	-1,874	46,611*	0,000

*: % 1 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 20'de çeşitli gecikme ve otoregresif gecikme durumlarına göre Markov değişim modelleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre doğrusal olmama şartını sağlamayan, rejimler arasındaki geçişkenliği ifade eden geçiş matrisleri ile değişen varyans, otokorelasyon ve hata terimlerinin normal dağılımı olarak ifade edilen sağlamlılık testleri anlamsız olan modeller, kapsam dışı tutulmuştur. Bu kriterler altında Akaike (AIC) bilgi kriteri en düşük olan bir gecikmeli MSIH 2 (1) modeli tercih edilmiştir. Tablo 21'de bir gecikmeli MSIH 2 (1) modelinin test sonuçları verilmiştir.

Tablo 21: Bir Gecikmeli MSIH 2 (1) Modelinin Kriterleri

Model: MSIH 2 (1)	Katsayılar	t Olasılık
Sabit (Rejim 1) (Ayı Piyasası)	-0,006	0,768
Sabit (Rejim 2) (Boğa Piyasası)	0,015**	0,016
Sigma (Rejim 1)	0,150*	0,000
Sigma (Rejim 2)	0,067*	0,000
LR-test Chi^2 (4)	45,952*	0,000
Davies Olasılık Değeri	0,000	
Normality test: Chi^2 (2)	0,750	0,687
ARCH 1-5 test: F(5,299)	0,376	0,540
Portmanteau(36): Chi^2(36)	32,742	0,578

*: %1 önem seviyesinde anlamlıdır.
**: %5 önem seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 21 incelendiğinde modele ilişkin test istatistiklerinden olan ve ilgili zaman serilerinin doğrusal olup olmadığını tespitinde kullanılan LR (Likelihood Ratio) doğrusallık ve Davies test sonuçlarına göre analizde kullanılacak olan BİST 100 endeksi veri setinin doğrusal olmayan yapı gösterdiği dolayısıyla rejim oluştuğu ifade edilebilir. MSIH 2(1) modeli varyansa bakarak rejimleri belirlemektedir. Model yüksek oynaklı dönemleri ayı piyasası olarak, düşük oynaklı dönemleri boğa piyasası olarak nitelendirmektedir. Bu durum boğa ve ayı piyasalarının katsayılarından da görülebilir. Rejim ayrımlarının oluşması rejim standart sapmaları ile gerçekleştirilen analiz ile mümkün olmuştur. Bu bağlamda ilgili katsayılar (sigmalar) incelendiğinde belirlenen birinci rejim yüksek oynaklı, ikinci rejim ise düşük oynaklıdır. Birinci rejim için getiriler negatif, ikinci rejim için getiriler pozitiftir. Buradan hareketle birinci rejimin ayı piyasasını, ikinci rejimin ise boğa piyasasını temsil ettiği söylenebilir. Modele ilişkin sağlamlık testleri olarak ifade edilen normality, ARCH ve portmanteau test sonuçlarına bakıldığında serinin hata terimlerinin normal dağıldığı, değişen varyansın bulunmadığı ve otokorelasyonun olmadığı görülmektedir. Tablo 22'de ise BİST 100 endeksi veri setinin rejim geçiş matrisleri verilmiştir.

Tablo 22: Rejim Geçiş Olasılıkları Matrisi

	Rejim 1	Rejim 2	Gözlem Sayısı (Ay)–(Yüzde)	Ortalama Süre (Ay)
Rejim 1 (Ayı Piyasası)	0.968	0.032	67 - %33	33,50
Rejim 2 (Boğa Piyasası)	0.009	0.991	136 - %67	68

Rejim geçiş olasılıkları matrisi incelendiğinde, t döneminden t+1 dönemine geçerken yüksek oynaklı negatif getirili ve ayı piyasası olarak ifade edilen rejim 1'de kalma olasılığı yaklaşık %97 iken, düşük oynaklı pozitif getirili ve boğa piyasası olarak ifade edilen rejim 2'ye geçme olasılığı yaklaşık %3'tür. Benzer şekilde t döneminden t+1 dönemine geçerken düşük oynaklı pozitif getirili ve boğa piyasası olarak ifade edilen rejim 2'de kalma olasılığı yaklaşık %99 iken, yüksek oynaklı negatif getirili ve ayı piyasası olarak ifade edilen rejim 1'e geçme olasılığı yaklaşık %1'dir. Sonuçlara göre, her iki rejimde de kalıcılık özelliği gözlemlenmektedir. Ayı piyasası olarak ifade edilen rejim 1'de ortalama kalma süresi 33,50 ay, boğa piyasası olarak ifade edilen rejim 2'de ortalama kalma süresi 68 aydır. Sonuçlara bakıldığında incelenen dönemin %67'si olan 136 ay boğa piyasası dönemi içerisinde iken %33'lük kısmı olan 67 ay ayı piyasası dönemi içerisinde yer almaktadır. İncelenen dönemler itibarıyla boğa piyasasının toplam dönem, ortalama kalma süresi ve olasılık oranları bakımından ayı piyasasına göre daha yüksek oranlara sahip olduğu görülmektedir. Tablo 23'te ise boğa ve ayı piyasası dönemlerini içeren tarih aralıkları verilmiştir.

Tablo 23: Boğa ve Ayı Piyasaları Olarak İfade Edilen Tarih Aralıkları

Ayı Piyasası				Boğa Piyasası			
Dönemler	**Süre (Ay)**	**Olasılık**	**Standart Sapma**	**Dönemler**	**Süre (Ay)**	**Olasılık**	**Satndart Sapma**
2000 (2) - 2004(2)	49	0,97	0,20	2004(3) - 2007(11)	45	0,95	0,12
2007(12) - 2009(5)	18	0,87	0,17	2009(6) - 2016(12)	91	0,98	0,13

Analiz sonuçlarına göre oluşturulan Tablo 23'te görüldüğü üzere, iki farklı ayı ve iki farklı boğa piyasası oluşmaktadır. Birinci ayı piyasası Şubat 2000 ile Şubat 2004 tarihlerini içerirken ikinci ayı piyasası Aralık 2007 ile Mayıs 2005 tarihlerini içermektedir. Birinci boğa piyasası Mart 2004 ile Kasım 2007 tarihlerini kapsarken, ikinci boğa piyasası Haziran 2009 ile Aralık 2016 tarihlerini kapsamaktadır. Bu bağlamda Şubat 2000 – Şubat 2004 tarihleri arasında toplamda 49 aylık dönemin % 97 olasılıkla, Aralık 2007 – Mayıs 2009 tarihleri arasında toplamda 18 aylık dönemin ise, %87 olasılıkla ayı piyasası olarak sınıflandırılabileceği tespit edilmiştir. Diğer taraftan Mart 2004 – Kasım 2007 tarihleri arasında toplamda 45 aylık dönemin %95 olasılıkla, Haziran 2009 – Aralık 2016 tarihleri arasında toplamda 91 aylık dönemin ise, %98 olasılıkla boğa piyasası olarak sınıflandırılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca boğa piyasalarının oluştuğu dönemdeki standart sapmaların ayı piyasalarının oluştuğu dönemlerdeki standart sapmalardan düşük olduğuda BİST 100 getirilerinde gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar literatürde yer alan Çevik vd., (2012) , Aydoğan (2013) çalışmalarının sonuçlarıyla örtüşmektedir. Diğer taraftan analize konu olan 58 hisse senedinin standart sapmaların ortalaması, birinci ayı piyasası döneminde 0,20, ikinci ayı piyasası döneminde 0,17 olurken birinci boğa piyasasında 0,12 ikinci boğa piyasasında ise 0,13 düzeyinde gerçekleşmiştir.

3.6. Bulanık Konno Yamazaki Doğrusal Programlama Modeli ile Portföy Optimizasyonu

Bu bölümde öncelikle boğa piyasalarında, sonra ayı piyasalarında bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda analize dâhil olan 58 hisse senedinin bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modelinde kullanılan değişken adları, Borsa İstanbul'da tanımlanan hisse kodları ve hisse senetlerinin adları Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24: Analize Dâhil Edilen Hisse Senetleri

Değişken	Hisse Kodu	Hisse Adı	Değişken	Hisse Kodu	Hisse Adı
X1	AFYON	Afyon Çimento	X30	IZMDC	İzmir Demir Çelik
X2	AKBNK	Akbank	X31	KRDMD	Kardemir Demir Çelik
X3	AKSA	Akrilik Kimya	X32	KARTN	Karton Sanayi
X4	ALGYO	Alarko GYO	X33	KCHOL	Koç Holding
X5	ALARK	Alarko Holding	X34	KONYA	Konya Çimento
X6	ANACM	Anadolu Cam	X35	KORDS	Kordsa Teknik tekstil
X7	ARCLK	Arçelik	X36	METRO	Metro Holding
X8	ASELS	Aselsan	X37	MGROS	Migros
X9	AYGAZ	Aygaz	X38	NTTUR	Net Turizm
X10	BAGFS	Bandırma Gübre Fab.	X39	NETAS	Netaş Tel.
X11	BANVT	Bandırma Yem	X40	NUGYO	Nurol GYO
X12	BRISA	Bridgestone Lastik	X41	OTKAR	Otokar otobüs Kar.
X13	CLEBI	Çelebi Hava Servis	X42	PARKME	Park Elektrik
X14	CEMTS	Çemtaş Çelik Mak.	X43	PETKM	Petkim Petro Kimya
X15	DEVA	Deva Holding	X44	SAHOL	Sabancı Holding
X16	DOHOL	Doğan Holding	X45	SASA	Sasa Polyester
X17	ECILC	Eczacıbaşı İlaç	X46	SISE	T.Şişe ve Cam Fab.
X18	EGEEN	Ege Endüstri	X47	TSKB	Türkiye Sınai ve Kalkınma Ban.
X19	ENKAI	Enka İnşaat	X48	TATGD	Tat Gıda
X20	ERBOS	Ereğli Boru San.	X49	KIPA	Tesco Kipa
X21	EREGL	Ereğli Demir Çelik	X50	TOASO	Tofaş Türk Oto.
X22	FROTO	Ford Oto San.	X51	TRKCM	Trakya Cam
X23	GARAN	Garanti Bankası	X52	TUPRS	Tüpraş
X24	GLYHOL	Global Yat. Holding	X53	THYAO	Türk Hava Yolları
X25	GOODY	Goodyear Lastik	X54	ULKER	Ülker Gıda
X26	GSDHOL	GSD Holding	X55	VKGYO	Vakıf GYO
X27	GUBRF	Gübre Fabrikaları	X56	VESTEL	Vestel
X28	ISCTR	İşbank C	X57	YKBNK	Yapı Kredi Bankası
X29	ISGYO	İş GYO	X58	YATAS	Yataş

Tablo 24’te bulunan hisse senetlerin optimizasyon işleminde kullanılmak üzere ilgili dönemler içerisinde aylık yüzdelik getirileri hesaplanmıştır.

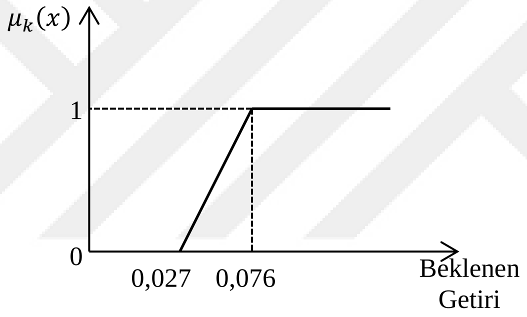
3.6.1. Boğa Piyasalarında Optimizasyon

Birinci boğa piyasası olarak belirlenen Mart 2004 ile Kasım 2007 tarihleri arasında, analize dâhil edilen 58 hisse senedinin aylık frekanstaki veriler ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Analize konu olan hisse senetlerinin aylık getirilerinin hesaplanmasından sonra, beklenen getiri diğer bir ifadeyle hisse senetlerinin ortalama getiri oranlarının ortalaması (ρ) 0,027, hisse senetlerinin beklenen maksimum ortalama getiri oranı ($\rho_{\max}$) 0,076 bulunmuştur. Maksimum ortalama getiri oranından ortalama getirinin farkını ifade eden beklenen getirinin toleransı (τ) ise 0,049 (τ =0,076-0,027) olarak hesaplanmıştır. Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu ($\mu_k(x)$) M_0=1 alınarak, aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$\mu_k(x) = \begin{Bmatrix} 0, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j < 0{,}027 \\ \left[\sum_{j=1}^{58} r_j x_j - 0{,}027\right]/0{,}049, & 0{,}027 \leq \sum_{j=1}^{58} r_j x_j \leq 0{,}076 \\ 1, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j > 0{,}076 \end{Bmatrix} \qquad (42)$$

Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu Şekil 4'teki gibidir.

Şekil 4: Mart 2004 – Kasım 2007 Dönemi Beklenen Getirinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4'e göre, optimal portföyün beklenen getirisi, hisse senetlerinin beklenen ortalama getirisi olarak hesaplanan 0,027 değerinden, hisse senetlerinin beklenen ortalama maksimum getirisi olarak hesaplanan 0,076 değerine yaklaştıkça yatırımcının tatmin düzeyi de sıfırdan (tatminsiz), bire (tat tatmin) doğru kayacaktır.

Optimizasyon sürecinde Werners (1987) yaklaşımı ile amaç fonksiyonu bulanık hale getirilmiştir. Modeldeki amaç fonksiyonu, her bir dönem için hesaplanan y_t fonksiyonunun toplamının minimizasyonudur. y_t fonksiyonu, t dönemindeki hisse senetlerinin getiri oranlarının, ilgili hisse senedinin ortalama getiri oranından çıkarılmasıyla elde edilen değer, karar değişkenlerinin katsayıları olarak kabul edilip, bu sonucun mutlak değerinin alınması şeklinde hesaplanmıştır. Buradan hareketle her dönem için hesaplanan y_t fonksiyonu kullanılarak birinci boğa piyasası olarak kabul edilen 45 dönem için minimize edilecek amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. y_t

değişkeni, her bir hisse senedinin t dönemdeki getiri oranı ile ilgili hisse senedinin ortalama getirisi arasındaki farkın mutlak değerini gösteren $a_{tj} = (r_{jt} - r_j)$, $\sum_{t=1}^{T} | \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j |$ şeklinde ifade edilmektedir. Buradan hareketle mutlak değer içindeki değişkenlerin pozitif veya negatif olabilmesi ihtimali üzerine ilgili değişkenlerin artılısı ve eksilisi modele birinci ve ikinci kısıt olarak ilave edilir. Üçüncü kısıt ise her bir hisse senedine yapılacak yatırım payı ile yine her bir hisse senedinin ortalama getirilerinin çarpımlarının toplamının, ortalama getiri veya beklenen getiri ile toplam yatırım tutarı çarpımından büyük veya eşit olması gerektiği kısıtıdır. Bu kısıt daha önce $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$ şeklinde ifade edilmiştir. Buna göre bahsedilen kısıt $\alpha = 0$ için Ƶ^0 ve $\alpha = 1$ için Ƶ^1 şeklinde oluşturulmuştur. Dördüncü ve son kısıt ise yatırım paylarının ağırlığını temsil eden x değişkenleri toplamının 1'e eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. Ƶ^0 ve Ƶ^1 değerlerinin çözümüne ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden denklemler Ek 1'de verilmiştir.

Modelin çözülmesiyle amaç fonksiyonunun Ƶ^0=0,013 ve Ƶ^1=0,070 değerleri elde edilir. Ƶ^0 tam tatmine karşılık gelen optimal portföyün risk değerini, Ƶ^1 ise tam tatminsizliğe karşı gelen optimal portföyün risk değerini ifade etmektedir. $\alpha = 0$ için Ƶ^0 ve $\alpha = 1$ için Ƶ^1 değerlerinin yerine yazılmasıyla amacın üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

$$\mu_z(x) = \begin{Bmatrix} 1, & Z < 0{,}013 \\ 1 - [Z - 0{,}013]/0{,}070 - 0{,}013, & 0{,}013 \leq Z \leq 0{,}070 \\ 0, & Z > 0{,}070 \end{Bmatrix} \quad (43)$$

Üyelik fonksiyonunun yerine konmasıyla bulanık amaçlı ve kaynaklı doğrusal programlama modeli, standart doğrusal programlama modeline dönüşür. Bu doğrultuda amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden denklemler Ek 2'de verilmiştir.

Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama ile kurulan model çözüldüğünde, optimal portföyü oluşturacak memnuniyet derecesi α=0,669 bulunmuştur. Bu değer aynı zamanda birim risk başına en yüksek getiriyi sunan optimal portföyü belirlemektedir (Pelitli, 2007:142) Elde edilen α seviyesine karşılık gelen optimal portföyün minimize edilen risk, üyelik fonksiyonundan aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_z(x) \Rightarrow \qquad 0,669 \ = 1 - \left[\frac{Ƶ - 0,013}{0,057}\right]$$

$$1 - 0,669 = \left[\frac{Ƶ - 0,013}{0,057}\right]$$

$$0,331 = \ \left[\frac{Ƶ - 0,013}{0,057}\right]$$

$$0,019 = \ Ƶ - 0,013$$

$$0,032 = \ Ƶ$$

α=0,669 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,032 olarak bulunmuştur. Bu memnuniyet seviyesinde beklenen getiri ise aşağıdaki şekilde bulunur.

Beklenen Getiri = $\rho M_0 + \alpha\tau$

=0,027*1+0,669*0,049

=0,027+0,033

= 0,060

α=0,669 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,032 iken beklenen getiri 0,06 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 25‘te optimal portföyde yer alan hisse senetleri ve ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 25: Birinci Boğa Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri ve Ağırlıkları

Değişkenler	**Hisse Senetleri**	**Portföy İçindeki Ağırlığı**	**İlgili Dönemdeki Ortalama Getirisi**
X15	Deva	0,307	0,076
X19	Enka İnşaat	0,185	0,041
X23	Garanti	0,085	0,045
X31	Kardemir	0,319	0,062
X41	Otokar	0,004	0,039
X47	TSKB	0,102	0,070

Analiz sonuçlarına göre birinci boğa piyasası olarak sınıflandırılan Mart 2004 ile Kasım 2007 tarihleri arasında, α =0,669 memnuniyet seviyesinde 0,032 risk ve 0,06 beklenen getiri için portföyde yer alan hisse senetleri sırasıyla şunlardır: %31,9 ile Kardemir, %30,7 ile Deva Holding, %18,5 ile Enka İnşaat, %10,2 ile Türkiye

Sınai Kalkınma Bankası (TSKB), %8,5 ile Garanti Bankası ve %0,4 ile Otokar hisse senetleridir. Portföyde yer alan hisse senetleri arasındaki korelasyon dereceleri Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26: Birinci Boğa Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri Arasındaki Korelasyon Dereceleri Tablosu

	Deva	Enka	Garanti	Kardemir	Otokar
Deva					
Enka	-0,09				
Garanti	0,06	0,10			
Kardemir	0,01	0,09	0,12		
Otokar	0,26	0,04	0,25	0,25	
TSKB	0,07	-0,18	0,61	0,25	0,25

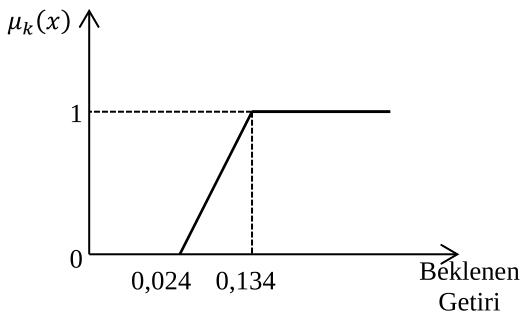
Tablo 26'ya göre optimal porföyde yer alan hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerinin nispeten düşük değerler aldığı söylenebilir.

İkinci boğa piyasası olarak belirlenen Haziran 2009 ile Aralık 2016 tarihleri arasında da, analize dâhil edilen 58 hisse senedinin aylık frekanstaki veriler ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analize konu olan hisse senetlerinin aylık getirilerinin hesaplanmasından sonra beklenen getiri diğer bir ifadeyle hisse senetlerinin ortalama getiri oranlarının ortalaması (ρ) 0,024, hisse senetlerinin beklenen maksimum ortalama getiri oranı ($\rho_{\max}$) 0,134 bulunmuştur. Maksimum ortalama getiri oranından ortalama getirinin farkını ifade eden beklenen getirinin toleransı (τ) ise 0,110 (τ =0,134-0,024) olarak hesaplanmıştır. Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu ($\mu_k(x)$) M_0=1 alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$\mu_k(x) = \begin{Bmatrix} 0, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j < 0{,}024 \\ \left[\sum_{j=1}^{58} r_j x_j - 0{,}024\right]/0{,}110, & 0{,}024 \le \sum_{j=1}^{58} r_j x_j \le 0{,}134 \\ 1, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j > 0{,}134 \end{Bmatrix} \tag{46}$$

Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu Şekil 5'teki gibidir.

Şekil 5: Haziran 2009 – Aralık 2016 Dönemi Beklenen Getirinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 5'e göre, optimal portföyün beklenen getirisi, hisse senetlerinin beklenen ortalama getirisi olarak hesaplanan 0,024 değerinden, hisse senetlerinin beklenen ortalama maksimum getirisi olarak hesaplanan 0,134 değerine yaklaştıkça yatırımcının tatmin düzeyi de sıfırdan (tatminsiz), bire (tat tatmin) doğru kayacaktır.

Optimizasyon sürecinde Werners (1987) yaklaşımı ile ikinci boğa piyasası olarak kabul edilen 91 dönemin amaç fonksiyonu bulanık hale getirilir. Sırasıyla ρM_0 $(\alpha = 0)$ ve $\rho M_0 + \tau$ $(\alpha = 1)$ beklenen getiriler çözülerek $Ƶ^0$ ve $Ƶ^1$ amaç fonksiyonunun değerleri bulunur. $Ƶ^0$ ve $Ƶ^1$ değerlerinin çözümüne ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden denklemler Ek 3'te verilmiştir.

Modelin çözülmesiyle amaç fonksiyonu $Ƶ^0$=0,020 ve $Ƶ^1$=0,307 değerleri elde edilir. Bu değerlerin amacın üyelik fonksiyonunda $\alpha = 0$ için $Ƶ^0$ ve $\alpha = 1$ için $Ƶ^1$ değerlerinin yerine yazılmasıyla amacın üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

$$\mu_z(x) = \begin{Bmatrix} 1, & Z < 0{,}020 \\ 1 - [Z - 0{,}020]/0{,}307 - 0{,}020, & 0{,}020 \leq Z \leq 0{,}307 \\ 0, & Z > 0{,}307 \end{Bmatrix} \qquad (47)$$

Üyelik fonksiyonunun yerine konmasıyla bulanık amaçlı ve kaynaklı doğrusal programlama modeli, standart doğrusal programlama modeline dönüşür. Bu doğrultuda oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlar Ek 4'te verilmiştir.

Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama ile kurulan model çözüldüğünde, birim risk başına en yüksek getiriyi sunan optimal portföyü oluşturacak memnuniyet derecesi α=0,561 bulunmuştur. Elde edilen α seviyesine karşılık gelen optimal portföyün minimize edilen risk üyelik fonksiyonundan aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_z(x) \Rightarrow \qquad 0{,}561 = 1 - \left[\frac{Ƶ - 0{,}020}{0{,}288}\right]$$

$$1 - 0{,}561 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}020}{0{,}288}\right]$$

$$0{,}439 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}020}{0{,}288}\right]$$

$$0{,}126 = Ƶ - 0{,}020$$

$$0{,}146 = Ƶ$$

α=0,561 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,146 olarak bulunmuştur. Bu memnuniyet seviyesinde beklenen getiri ise aşağıdaki şekilde bulunur.

Beklenen Getiri = $\rho M_0 + \alpha\tau$

=0,024*1+0,561*0,110

=0,024+0,62

= 0,086

α=0,561 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,146 iken beklenen getiri 0,086 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 27'de optimal portföyde yer alan hisse senetleri ve ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 27: İkinci Boğa Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri ve Ağırlıkları

Değişkenler	**Hisse Senetleri**	**Portföy İçindeki Ağırlığı**	**İlgili Dönemdeki Ortalama Getirisi**
X1	Afyon Çimento	0,452	0,136
X8	ASELSAN	0,242	0,043
X18	Ege Endüstri	0,306	0,048

Analiz sonuçlarına göre ikinci boğa piyasası olarak sınıflandırılan Haziran 2009 ile Aralık 2016 tarihleri arasında, α =0,561 memnuniyet seviyesinde 0,146 risk ve 0,086 beklenen getiri için portföyde yer alan hisse senetleri sırasıyla şunlardır:

%45,2 ile Afyon Çimento, %30,6 ile Ege Endüstri ve %24,2 ile ASELSAN hisse senetleridir. Hisse senetleri arasındaki korelasyon dereceleri Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28: İkinci Boğa Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri Arasındaki Korelasyon Dereceleri Tablosu

	Afyon Çimento	ASELSAN
ASELSAN	0,10	
Ege Endüstri	0,15	0,11

Hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerine bakılacak olursa Afyon Çimento ile ASELSAN arasında 0,10, Afyon Çimento ile Ege Endüstri arasında 0,15 ve ASELSAN ile Ege Endüstri arasında ise 0,11 düzeyinde gerçekleşmiştir.

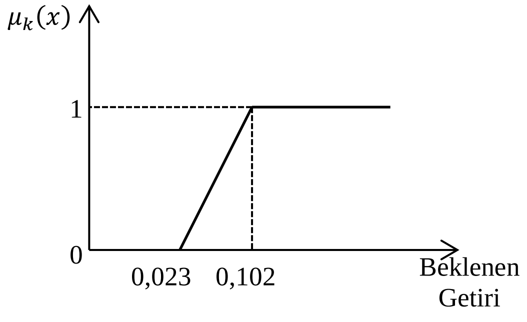
3.6.2. Ayı Piyasalarında Optimizasyon

Birinci ayı piyasası olarak belirlenen Şubat 2000 ile Şubat 2004 tarihleri arasındaki, analize konu olan 58 hisse senedinin aylık frekanstaki verileri ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analize konu olan hisse senetlerinin aylık getirilerinin hesaplanmasından sonra beklenen getiri, diğer bir ifadeyle hisse senetlerinin ortalama getiri oranlarının ortalaması (ρ) 0,023, hisse senetlerinin beklenen maksimum ortalama getiri oranı ($\rho_{\max}$) 0,102 bulunmuştur. Maksimum ortalama getiri oranından ortalama getirinin farkını ifade eden beklenen getirinin toleransı (τ) ise 0,079 (τ =0,102-0,023) olarak hesaplanmıştır. Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu ($\mu_k(x)$) M_0=1 alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j < 0{,}023 \\ \left[\sum_{j=1}^{58} r_j x_j - 0{,}023\right]/0{,}079, & 0{,}023 \leq \sum_{j=1}^{58} r_j x_j \leq 0{,}102 \\ 1, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j > 0{,}102 \end{cases} \qquad (40)$$

Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu Şekil 6'daki gibidir.

Şekil 6: Şubat 2000 – Şubat 2004 Dönemi Beklenen Getirinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 6'ya göre, optimal portföyün beklenen getirisi, hisse senetlerinin beklenen ortalama getirisi olarak hesaplanan 0,023 değerinden, hisse senetlerinin beklenen ortalama maksimum getirisi olarak hesaplanan 0,102 değerine yaklaştıkça yatırımcının tatmin düzeyi de sıfırdan (tatminsiz), bire (tat tatmin) doğru kayacaktır.

Optimizasyon sürecinde Werners (1987) yaklaşımı ile amaç fonksiyonu bulanık hale getirilmiştir. Modeldeki amaç fonksiyonu, her bir dönem için hesaplanan y_t fonksiyonunun toplamının minimizasyonudur. y_t fonksiyonu, t dönemindeki hisse senetlerinin getiri oranlarının, ilgili hisse senedinin ortalama getiri oranından çıkarılmasıyla elde edilen değer, karar değişkenlerinin katsayıları olarak kabul edilip, bu sonucun mutlak değerinin alınması şeklinde hesaplanmıştır. Buradan hareketle her dönem için hesaplanan y_t fonksiyonu kullanılarak birinci ayı piyasası olarak kabul edilen 49 dönem için minimize edilecek amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Y_t değişkeni, her bir hisse senedinin t dönemdeki getiri oranı ile ilgili hisse senedinin ortalama getirisi arasındaki farkın mutlak değerini gösteren $a_{tj} = (r_{jt} - r_j)$, $\sum_{t=1}^{T} | \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j |$ şeklinde ifade edilmektedir. Buradan hareketle mutlak değer içindeki değişkenlerin pozitif veya negatif olabilmesi ihtimali üzerine ilgili değişkenlerin artılısı ve eksilisi modele birinci ve ikinci kısıt olarak ilave edilir. Üçüncü kısıt ise her bir hisse senedine yapılacak yatırım payı ile yine her bir hisse senedinin ortalama getirilerinin çarpımlarının toplamının, ortalama getiri veya beklenen getiri ile toplam yatırım tutarı çarpımından büyük veya eşit olması gerektiği kısıtıdır. Bu kısıt daha önce $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$ şeklinde ifade edilmiştir. Buna göre bahsedilen kısıt $\alpha = 0$ için $Ƶ^0$ ve $\alpha = 1$ için $Ƶ^1$ şeklinde oluşturulmuştur. Dördüncü ve son kısıt ise yatırım paylarının ağırlığını temsil eden x değişkenleri toplamının 1'e eşit olması gerektiğini gösteren kısıttır. $Ƶ^0$ ve $Ƶ^1$ değerlerinin çözümüne ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden denklemler Ek 5'de verilmiştir.

Modelin çözülmesiyle amaç fonksiyonu için $Ƶ^0$=0,025 ve $Ƶ^1$=0,143 değerleri elde edilir. $\alpha = 0$ için $Ƶ^0$ ve $\alpha = 1$ için $Ƶ^1$ değerlerinin yerine yazılmasıyla da amacın üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

$$\mu_z(x) = \begin{Bmatrix} 1, & Z < 0{,}025 \\ 1 - [Z - 0{,}025]/0{,}143 - 0{,}025, & 0{,}025 \leq Z \leq 0{,}143 \\ 0, & Z > 0{,}143 \end{Bmatrix} \quad (41)$$

Üyelik fonksiyonunun yerine konmasıyla bulanık amaçlı ve kaynaklı doğrusal programlama modeli, standart doğrusal programlama modeline dönüşür. Bu doğrultuda amaç fonksiyonu $Max\ \alpha$ olurken standart doğrusal programlamada her bir dönem için hesaplanan y_t fonksiyonunun toplamının minimizasyonunu ifade eden amaç fonksiyonu burada değişikliğe uğrayarak kısıta dönüşmektedir. Modele ait amaç fonksiyonu ve kısıtlar Ek 6'da verilmiştir.

Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama ile kurulan model çözüldüğünde, birim risk başına en yüksek getiriyi sunan optimal portföyü oluşturacak memnuniyet derecesi α=0,564 bulunmuştur. Elde edilen α seviyesine karşılık gelen optimal portföyün minimize edilen riski, üyelik fonksiyonundan aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_z(x) \Rightarrow \qquad 0{,}564 = 1 - \left[\frac{Ƶ - 0{,}025}{0{,}1185}\right]$$

$$1 - 0{,}564 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}025}{0{,}1185}\right]$$

$$0{,}436 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}025}{0{,}119}\right]$$

$$0{,}052 = Ƶ - 0{,}025$$

$$0{,}077 = Ƶ$$

α=0,564 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,077 olarak bulunmuştur. Bu memnuniyet seviyesinde beklenen getiri ise aşağıdaki şekilde bulunur.

Beklenen Getiri = $\rho M_0 + \alpha\tau$

=0,023*1+0,564*0,079

=0,023+0,045

= 0,068

α=0,564 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,077 iken beklenen getiri 0,068 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 29'da optimal portföyde yer alan hisse senetleri, ağırlıkları ve getirileri verilmiştir.

Tablo 29: Birinci Ayı Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri ve Ağırlıkları

Değişkenler	Hisse Senetleri	Portföy İçindeki Ağırlığı	İlgili Dönemdeki Ortalama Getirisi
X32	Karton	0,262	0,026
X42	Park Elektrik	0,284	0,102
X54	Ülker	0,454	0,070

Analiz sonuçlarına göre birinci ayı piyasası olarak sınıflandırılan Şubat 2000 ile Şubat 2004 tarihleri arasında, α =0,564 memnuniyet seviyesinde 0,077 risk ve 0,068 beklenen getiri için oluşturulacak portföy içerisinde yer alması gereken hisse senetleri şunlardır: %45,4 ile Ülker, %28,4 ile Park Elektrik ve %26,2 ile Kartonsan hisse senetleridir. Optimal portföyde yer alan hisse senetleri arasındaki korelasyon dereceleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30: Birinci Ayı Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri Arasındaki Korelasyon Dereceleri Tablosu

	Kartonsan	Park Elektrik
Park Elektrik	0,10	
Ülker	0,29	0,11

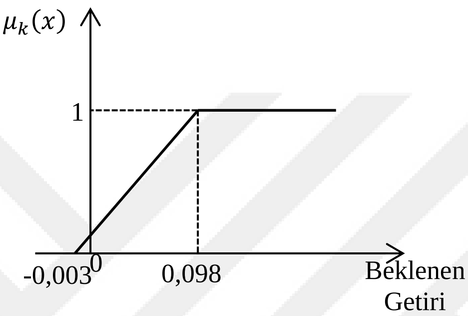
Portföyü oluşturan hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerine bakıldığında Kartonsan ile Park Elektrik arasında 0,10, Kartonsan ile Ülker arasında 0,29, Park Elektrik ile Ülker arasında ise 0,11 düzeyinde gerçekleşmiştir.

İkinci ayı piyasası olarak belirlenen Aralık 2007 ile Mayıs 2009 tarihleri arasında da, analize dâhil edilen 58 hisse senedinin ilgili dönemde aylık frekanstaki veriler ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analize konu olan hisse senetlerinin aylık getirilerinin hesaplanmasından sonra beklenen getiri diğer bir ifadeyle hisse senetlerinin ortalama getiri oranlarının ortalaması (ρ) -0,003, hisse senetlerinin beklenen maksimum ortalama getiri oranı ($\rho_{\max}$) 0,098 bulunmuştur. Maksimum ortalama getiri oranından ortalama getirinin farkını ifade eden beklenen getirinin toleransı (τ) ise 0,101 (τ =0,098-(-0,003)) olarak hesaplanmıştır. Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu ($\mu_k(x)$) M_0=1 alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j < -0{,}003 \\ \left[\sum_{j=1}^{58} r_j x_j - (-0{,}003\right]/0{,}101, & -0{,}003 \leq \sum_{j=1}^{58} r_j x_j \leq 0{,}098 \\ 1, & \sum_{j=1}^{58} r_j x_j > 0{,}098 \end{cases} \tag{44}$$

Beklenen getirinin üyelik fonksiyonu Şekil 7'deki gibidir.

Şekil 7: Aralık 2007 – Mayıs 2009 Dönemi Beklenen Getirinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 7'ye göre, optimal portföyün beklenen getirisi, hisse senetlerinin beklenen ortalama getirisi olarak hesaplanan -0,003 değerinden, hisse senetlerinin beklenen ortalama maksimum getirisi olarak hesaplanan 0,098 değerine yaklaştıkça yatırımcının tatmin düzeyi de sıfırdan (tatminsiz), bire (tat tatmin) doğru kayacaktır.

Optimizasyon sürecinde ikinci ayı piyasası olarak kabul edilen 19 dönemin amaç fonksiyonunu bulanık hale getiren model Werners (1987) yaklaşımı ile oluşturulmuştur. Sırasıyla ρM_0 $(\alpha = 0)$ ve $\rho M_0 + \tau$ $(\alpha = 1)$ beklenen getiriler çözülerek farklı memnuniyet seviyelerindeki amaç fonksiyonunun Ƶ^0 ve Ƶ^1 değerleri bulunur. Ƶ^0 ve Ƶ^1 değerlerinin çözümüne ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtları ifade eden denklemler Ek 7'de verilmiştir.

Modelin çözülmesiyle amaç fonksiyonu Ƶ^0=0,030 ve Ƶ^1=0,098 değerleri elde edilir. $\alpha = 0$ için Ƶ^0 ve $\alpha = 1$ için Ƶ^1 değerlerinin yerine yazılmasıyla amacın üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 1, & Z < 0{,}030 \\ 1 - [Z - 0{,}030]/0{,}098 - 0{,}030, & 0{,}030 \leq Z \leq 0{,}098 \\ 0, & Z > 0{,}098 \end{cases} \tag{45}$$

Üyelik fonksiyonunun yerine konmasıyla bulanık amaçlı ve kaynaklı doğrusal programlama modeli, standart doğrusal programlama modeline dönüşür. Bu doğrultuda modele ilişkin amaç fonksiyonu ve kısıtlar Ek 8'de verilmiştir.

Bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama ile kurulan model çözüldüğünde, birim risk başına en yüksek getiriyi sunan optimal portföyü oluşturacak memnuniyet derecesi α=0,684 bulunmuştur. Elde edilen α seviyesine karşılık gelen optimal portföyün minimize edilen riski üyelik fonksiyonundan aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_z(x) \Rightarrow \qquad 0{,}684 = 1 - \left[\frac{Ƶ - 0{,}030}{0{,}068}\right]$$

$$1 - 0{,}684 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}030}{0{,}068}\right]$$

$$0{,}316 = \left[\frac{Ƶ - 0{,}030}{0{,}068}\right]$$

$$0{,}021 = Ƶ - 0{,}030$$

$$0{,}051 = Ƶ$$

α=0,684 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,051 olarak bulunmuştur. Bu memnuniyet seviyesinde beklenen getiri ise aşağıdaki şekilde bulunur.

Beklenen Getiri = $\rho M_0 + \alpha\tau$
=-0,003*1+0,684*0,101
=-0,003+0,069
= 0,066

α=0,684 memnuniyet seviyesinde minimize edilen risk 0,051 iken beklenen getiri 0,066 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 31'de optimal portföyde yer alan hisse senetleri ve ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 31: İkinci Ayı Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri ve Ağırlıkları

Değişkenler	Hisse Senetleri	Portföy İçindeki Ağırlığı	İlgili Dönemdeki Ortalama Getirisi
X2	Akbank	0,132	0,007
X27	Gübre Fabrikaları	0,561	0,098
X36	Metro	0,307	0,033

Analiz sonuçlarına göre ikinci ayı piyasası olarak sınıflandırılan Aralık 2007 ile Mayıs 2009 tarihleri arasında, α =0,684 memnuniyet seviyesinde 0,051 risk ve 0,066 beklenen getiri için portföyde yer alan hisse senetleri sırasıyla şunlardır: %56,1 ile Gübre Fabrikaları, %30,7 ile Metro Holding ve %13,2 ile Akbank ile hisse senetleridir. Optimal portföyde yer alan hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerini gösteren Tablo 32 aşağıda verilmiştir.

Tablo 32: İkinci Ayı Piyasası Döneminde Optimal Portföyde Yer Alan Hisse Senetleri Arasındaki Korelasyon Dereceleri Tablosu

	Akbank	Gübre Fabrikaları
Gübre Fabrikaları	-0,27	
Metro	0,15	-0,07

Portföyde yer alan hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerine bakıldığında ise Akbank ile Gübre Fabrikaları arasında -0,27, Akbank ile Metro arasında 0,15, Gübre Fabrikaları ile Metro arasında ise -0,07 düzeyinde gerçekleşmiştir.

3.7. Bulguların Değerlendirilmesi

Çalışmadan elde edilen ilk bulgu BİST 100 endeksinin Ocak 2000 ile Aralık 2016 tarihleri arasında boğa ve ayı piyasası olarak ayrılabildiği yönündedir. Gerçekleştirilen analizde ilgili dönemler için iki farklı ayı piyasası ve iki farklı boğa piyasası oluştuğu tespit edilmiştir. Markov rejim değişim modeli ayı piyasaları sırasıyla Şubat 2000 – Şubat 2004 ve Aralık 2007 – Mayıs 2009 tarihleri arasını içeren yüksek oynaklı ve düşük getirili dönemler olduğunu ortaya koymaktadır. Boğa piyasaları ise sırasıyla Mart 2004 – Kasım 2007 ve Haziran 2009 – Aralık 2016 tarihleri arasını içeren düşük oynaklı ve yüksek getirili dönemi kapsamaktadır. BİST 100 endeksinde düzenli olarak yer alan ve çalışmaya konu 58 hisse senedinin ayı piyasalarındaki standart sapma ortalamalarının boğa piyasalarına kıyasla daha yüksek olması analiz sonuçlarını desteklemektedir. Piyasaların boğa ve ayı piyasası olarak ayrılabildiğine yönelik elde edilen bu sonuç literatürde yer alan Çevik vd., (2012), Aydoğan (2013) çalışmalarının sonuçlarıyla benzerlik göstermekte, ancak üç rejimin tespit edildiği Koy (2016) çalışmasıyla farklılık arz etmektedir. Bunun nedeni olarak da analize konu olan dönemlerin ve verilerin frekans aralığının farklı olması söylenebilir.

Birinci ayı piyasası olarak ifade edilen Şubat 2000 – Şubat 2004 döneminin, 1999 depreminin yıkıcı etkisi, koalisyon hükümeti içerisinde başlayan tartışmalar, sabit kur sisteminin sürdürülemeyeceğine dair göstergeler ve spekülatif döviz talebi kaynaklı Kasım 2000 krizi, devamında ise siyasi iktidarı serbest döviz kuru sistemine geçmek zorunda bırakacak Şubat 2001 krizini içerdiği söylenebilir. Bu dönemde ekonomideki ortalama büyüme oranı ise %3'lerde kalmıştır. Yaşanan bu ağır krizlerin etkileri 2004 yılının başlarına kadar devam etmektedir. İkinci ayı piyasası olarak ifade edilen Aralık 2007 – Mayıs 2009 döneminde ise 2008 küresel krizinin etkilerinin yer aldığı, büyüme oranlarının ortalama -%2'lere düştüğü ve siyasi ve askeri gerilimlerin oluştuğu söylenebilir. Boğa piyasaları dönemleri ise yaşanan krizlerin etkisinin sona erdiği ve piyasaların tekrar canlanmaya başladığı süreçleri kapsamaktadır. Bu bağlamda birinci boğa piyasası olarak ifade edilen Mart 2004 – Kasım 2007 dönemi içerisinde tek parti iktidarı nedeniyle siyasi krizin sona ermesi, Avrupa Birliği'nin Türkiye ile tam üyelik müzakerelerine başlaması, kredi derecelendirme kuruluşlarının not artırımı, enflasyonun %10'nun altına düşmesi, ortalama %7'lerdeki yüksek büyüme oranlarının gerçekleştiği söylenebilir. İkinci boğa piyasası olarak tespit edilen Haziran 2009 ile Aralık 2016 dönemine bakıldığında ise açılım süreci ile terör olaylarının azalacağına dair beklentiler, kredi derecelendirme kuruluşlarının not artırımı ile ülke notunu yatırım yapılabilir seviyeye yükseltmeleri, tek parti iktidarının devam ettiği, özelleştirmelerin arttığı, ihracatta önemli artışların yaşandığı, ekonomik büyümenin ortalama %5 gibi yüksek oranlara ulaştığı ve Cumhurbaşkanlığı seçimi ile iktidarda görev değişimine ait sürecin sağlıklı işleyişi beklentisi altında siyasi krizlerin yaşanmadığı süreçleri kapsadığı söylenebilir. Buna göre Markov rejim değişim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen parametrik rejim ayrımlarının ekonomik ve siyasi gelişmeler ile örtüştüğü ifade edilebilir.

Boğa ve ayı piyasalarına ilişkin gerçekleştirilen portföy optimizasyon sonuçları değerlendirildiğinde birinci boğa piyasası olarak tespit edilen Mart 2004 – Kasım 2007 dönemi ile ikinci boğa piyasası dönemi olarak tespit edilen Haziran 2009 – Aralık 2016 dönemine ait oluşturulan optimal portföylerin varlık sayısı, portföy getirisi ve hem Konno Yamazaki hem de aynı varlık ağırlıkları ile Markowitz modeline göre hesaplanan portföy riskine ait özetlenmiş veriler Tablo 33'te görülebilir.

Tablo 33: Boğa Piyasalarına İlişkin Verileri

Piyasalar	**Portföyde yer Alan Varlık Sayısı**	**Konno Yamazaki Modeline Göre Portföy Riski**	**Markowitz Modeline Göre Portföy Riski**	**Portföyün Getirisi**
Birinci Boğa Piyasası	5	0,032	0,085	0,060
İkinci Boğa Piyasası	3	0,146	0,455	0,086
Ortalama	**4**	**0,089**	**0,270**	**0,073**

Tablo 33'e göre boğa piyasaları, gerek optimal portföyde yer alan varlık sayısı, gerek portföyün getirisi ve riski açısından kendi içinde benzerlik göstermemektedir. Bu bağlamda boğa piyasalarında portföy optimizasyonu sonuçlarının farklılık arz ettiği ifade edilebilir.

Birinci ayı piyasası olarak tespit edilen Şubat 2000 – Şubat 2004 dönemi ile ikinci ayı piyasası olarak tespit edilen Aralık 2007 – Mayıs 2009 dönemi için oluşturulan optimal portföylerin varlık sayısı, portföy getirisi ve hem Konno Yamazaki hem de aynı varlık ağırlıkları ile Markowitz modeline göre hesaplanan portföy riskine ait özetlenmiş veriler Tablo 34'te görülebilir.

Tablo 34: Ayı Piyasalarına İlişkin Veriler

Piyasalar	**Portföyde yer Alan Varlık Sayısı**	**Konno Yamazaki Modeline Göre Portföy Riski**	**Markowitz Modeline Göre Portföy Riski**	**Portföyün Getirisi**
Birinci Ayı Piyasası	3	0,077	0,198	0,066
İkinci Ayı Piyasası	3	0,051	0,146	0,068
Ortalama	**3**	**0,064**	**0,172**	**0,067**

Tablo 34’e göre ayı piyasalarında, bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile oluşturulan optimal portföylerin getirisi, riski ve varlık sayısı bakımından benzerlik gösterdiği söylenebilir. Bu bağlamda piyasaların ayı piyasalarında portföy optimizasyon sonuçlarının benzerlik gösterdiği ifade edilebilir.

Boğa ve ayı piyasalarına bir bütün olarak bakıldığında oluşturulan optimal portföylerin getiri ve risk bakımından birbirinden ayrıştığı görülmektedir. Optimal portföylerin getiri ve riski ile optimal portföyü oluşturan varlıklar bakımından, ayı piyasaları kendi içerisinde benzer özellikler gösterirken; boğa piyasaları kendi içerisinde farklılık arz etmektedir. Diğer taraftan bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile ayı piyasasında oluşturulan optimal portföylerin ortalama getirisi 0,067, riski 0,064 ve optimal portföyde yer alan varlık sayısı üç iken boğa piyasalarında oluşturulan optimal portföylerin ortalama getirisi 0,073, riski 0,089 ve optimal portföyde yer alan varlık sayısının ise dört olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu bağlamda ayı piyasalarında optimal portföyün riskinin daha düşük, boğa piyasalarında ise optimal portföyün getirisinin daha yüksek olduğu görülmekte olup bu sonuç Wang vd., (2017) çalışmasında da ifade edilmektedir. Ancak bu çalışmada piyasada oluşan rejimleri belirlenirken Wang vd., (2017) çalışmasından farklı olarak parametrik bir yöntem olan Markov rejim değişim modeli kullanılmıştır.

Portföy optimizasyon sonuçlarının, literatürde yer alan bulanık mantık modelleri ile gerçekleştirilen çalışmaların portföy optimizasyonu sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla düzenlenen Tablo 35 aşağıdaki gibidir.

Tablo 35: Bulanık Mantık Modeli ile Portföy Optimizasyonu Yapılan Çalışmaların Özeti

Çalışma	Dönem	Ülke /Borsa	Portföyde Yeralan Varlık Sayısı	Portföyün Getirisi	Portföyün Riski
Bekçi (2001)	1999-2001	Türkiye (BİST100)	6	0,055	0,118
Pelitli (2007)	2001-2006	Türkiye (BİST50)	9	0,045	0,085
Gupta vd., (2008)	2003-2006	Hindistan (NSE)	8	0,048	0,066
Kocadağlı ve Cinemre (2010)	2008	Türkiye (BİST30)	8	0,049	0,060
Cebeci (2011)	2007-2009	Türkiye (BİST30)	6	0,040	0,074
Gharakhani ve Sadjadi (2013)	2009-2011	ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, İsviçre ve Japonya (Piyasa Göstergesi Endeksleri)	4	0,015	0,054
Sukandar vd., (2014)	2011-2013	Endonezya (LQ45)	3	0,082	0,050
Erdaş ve Demir (2016)	2012-2014	Türkiye (BİST30)	7	0,043	0,017
Konak ve Bağcı (2016)		İngiltere (FTSE100)	2	0,001	0,010
Wang vd., (2017)	2014	Amerika (NYSE)	Ayı Piyasası 2 Boğa Piyasası 2	0,138 0,145	0,070 0,076
Analiz Sonuçları	2000-2016	Türkiye (BİST100)	Ayı Piyasası 3 Boğa Piyasası 4	0,067 0,073	0,064 0,089

Tablo 35'teki verilere göre bu çalışma portföyde yer alan varlık sayısı bakımından Gharakhani ve Sadjadi (2013) ve Sukandar vd., (2014) çalışmalarıyla benzer özellikler göstermektedir. Portföy riski bakımından Pelitli (2007), Gupta vd., (2008), Kocadağlı ve Cinemre (2010), Cebeci (2011) ve Wang vd., (2017) çalışmalarıyla benzer özellikler göstermekte olup bu benzerliğin temel nedeni olarak çalışmaların çoğunun BİST endeksi üzerinde yapılmış olması söylenebilir. Portföyün getirisi bakımından ise Bekçi (2001), Sukandar vd., (2014) çalışmalarıyla benzer özellik göstermekte olup bunun temel nedeni olarak çalışmaların kırılgan beşlide yer alan iki ülke borsalarında yapılmış olması gösterilebilir. Diğer çalışmalarla benzer özellikler göstermemesinin nedeni olarak da, çalışma dönemi ve örneklem farklılığının olması söylenebilir.

Optimizasyon sonuçlarına göre bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile optimize edilmiş portföylerin dönemsel olarak ortalama getirisi ve riskinin, analize dâhil olan 58 hisse senedinin ortalama getirisi ve riskine göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu sonuç gerçekleştirilen optimizasyonun başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu sonuç Mohamad vd. (2010), Kocadağlı ve Keskin (2015) ve Wang vd., (2017) çalışmalarıyla benzer özellikler göstermektedir. Ancak çalışma, literatürdeki boğa ve ayı piyasalarında bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile yapılan portföy optimizasyonuna yönelik Mohamad vd. (2010), Kocadağlı ve Keskin (2015) ve Wang vd., (2017) çalışmalarından, boğa ve ayı piyasalarının belirlenmesinde kullanılan yöntem bakımından farklılık arz etmektedir. Diğer çalışmalarda parametrik olmayan yöntemler ile boğa ve ayı piyasaları belirlenirken bu çalışmada parametrik bir yöntem olan Markov rejim değişim modeli kullanılmıştır. Ayrıca ilgili çalışmalarda, portföy optimizasyonu sadece bir boğa ve bir ayı piyasası için gerçekleştirilmiş ve boğa ve ayı piyasalarındaki optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ise Markov rejim değişim modeli ile iki boğa ve iki ayı piyasası ortaya çıkmış olup, portföy optimizasyonu iki boğa piyasası ve iki ayı piyasası için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Böylelikle optimizasyon sonuçları hem boğa ve ayı piyasaları açısından kendi içerisinde karşılaştırılmış, hem de boğa ve ayı piyasalarındaki optimizasyon sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Son olarak hem ayı piyasalarında hem de boğa piyasalarında optimal portföyü oluşturan hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, Markowitz (1952) çalışmasında ifade edilen, “portföyde yer alacak varlıklar belirlenirken menkul kıymetler arasındaki korelasyon derecesi düşük olan menkul kıymetlerin seçilmesi” tezini de desteklemektedir.

SONUÇ

Yatırımcıların yatırım kararlarının temel belirleyicileri, yatırımdan beklenen getiri ve risktir. Bu nedenle, yatırım kararları neticesinde karşılaşılabilecek riskleri minimize etmek amacıyla, tek bir varlığa yatırım yapmak yerine birden fazla varlığın yer aldığı bir portföye yatırım yapma fikri, portföy optimizasyon modellerinin doğuşuna neden olmuştur. Bu bağlamda Modern portföy teorisinin temelini oluşturan ve Markowitz (1952) çalışmasıyla literatüre giren ortalama varyans modeli, optimal portföyleri belirlemek amacıyla literatürde sıkça kullanılmaktadır. Ancak büyük ölçekli portföylere uygulamanın zorluğu nedeniyle eleştirilen ortalama varyans modeline alternatif olarak Konno ve Yamazaki (1991) çalışmasında geliştirilen doğrusal programlama modeli de son yıllarda tercih edilen bir yöntem olmuştur. Karar sürecindeki belirsizlikler nedeniyle, modelin başarısını artırmak için doğrusal programlama ile yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık birlikte kullanılarak oluşturulan bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli bu çalışmanın da temelini oluşturmaktadır. Ayrıca portföy oluşturma süreci dinamik bir süreç olduğundan etkin portföyler belirlenirken piyasadaki gelişmelerin de takip edilmesi gerekir. Çünkü piyasalarda meydana gelen değişimler, finansal varlıkların getirilerini de etkilemektedir. Dolayısıyla yatırımcıların portföylerine varlık seçme kararlarında, piyasada oluşan rejimler etkili olmaktadır. Bu bağlamda portföy optimizasyonu gerçekleştirmeden önce piyasalarda oluşan rejimlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, boğa ve ayı piyasalarında bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli ile oluşturulan optimal portföylerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda öncelikle Ocak 2000 ile Aralık 2016 yılları arasında BİST 100 endeksinin aylık frekanstaki doğal logaritmik getirisi üzerinde Markov rejim değişim modeli kullanılarak ilgili tarihler içerisindeki boğa ve ayı piyasaları belirlenmiştir. Markov rejim değişim modeli neticesinde iki farklı ayı ve iki farklı boğa piyasasının oluştuğu tespit edilmiştir. Şubat 2000 – Şubat 2004 tarihleri arasında 49 aylık dönem ve Aralık 2007 – Mayıs 2009 tarihleri arasında 18 aylık dönem ayı piyasası olarak belirlenmiş olup ilgili dönemler sırasıyla birinci ve ikinci ayı piyasası olarak ifade edilmiştir. Mart 2004 – Kasım 2007 tarihleri arasında 45 aylık dönem ve Haziran 2009 – Aralık 2016 tarihleri arasında 91 aylık dönem ise boğa piyasası olarak belirlenmiş olup ilgili dönemler sırasıyla birinci ve ikinci boğa piyasası olarak ifade edilmiştir. İlgili dönemlerin ayrılmasındaki ekonomi dinamikleri ile aynı şekilde BİST dönemlerini ayıran Aydoğan (2013) ve Çevik vd., (2012) çalışmalarında oluşan boğa ve ayı piyasaları dönemleri açısından benzerlik gösterirken, farklı çalışma dönemi ve farklı frekanstaki verilerin kullanıldığı Koy (2016) çalışmasıyla benzerlik göstermemektedir.

Çalışmanın sonraki aşamasında tespit edilen boğa ve ayı piyasaları için bulanık Konno Yamazaki doğrusal programlama modeli kullanılarak örneklem dönemi boyunca BİST 100 endeksi içerisinde varlığını kesintisiz sürdüren 58 hisse senedi ile portföy optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Portföy optimizasyonundan elde edilen sonuçlar, ayı piyasalarında oluşturulan optimal portföylerin getiri ve riskleri ile portföyde yer alan menkul kıymet sayısı bakımından benzer özellikler taşıdığını ortaya koymaktadır. Boğa piyasalarında ise oluşturulan optimal portföylerin getiri ve riskleri ile portföyde yer alan menkul kıymet sayısı açısından farklılıklar oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda çalışmanın da amacını oluşturan portföy optimizasyon sonuçlarının boğa ve ayı piyasalarında farklılık arz edip etmediğinin tespitine yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, portföy optimizasyonu sonuçlarının, boğa ve ayı piyasalarında farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca boğa piyasaları ile ayı piyasaları bir bütün olarak değerlendirildiğinde beklentiler doğrultusunda ayı piyasalarında oluşturulan optimal portföyler daha düşük risk sunarken, boğa piyasalarında oluşturulan portföyler daha yüksek getiri sunmakta olup bu sonuç, piyasaları bu çalışmanın aksine parametrik olmayan bir yöntemle boğa ve ayı piyasası olarak bölen Wang vd., (2017) çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu sonuç Kahneman ve Tversky (1979) çalışmasında ifade edilen beklenti teorisiyle örtüşmektedir. Beklenti teorisi, yatırımcıların, piyasaların yükseliş dönemine girdiğinde daha fazla kazanç elde etmek için daha fazla risk alabildikleri, piyasalar düşüş eğilimine girdiğinde ise daha fazla kayba uğramamak için riskten kaçındıkları şeklinde ifade edilmektedir.

Analiz sonucunda oluşan optimal portföyler içinde yer alan hisse senetlerine bakıldığında genellikle farklı sektörlerdeki şirketlerin hisse senetlerinden oluştuğu görülmektedir. Nitekim bu durum hisse senetleri arasındaki korelasyon derecelerinin düşük olmasına neden olmuştur. Bu bağlamda hem geleneksel portföy teorisi hem de modern portföy teorisi doğrultusunda portföy oluşturulurken farklı sektörlere ait hisse senetlerinin portföye dahil edilmesinin matematiksel olarak doğru bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yatırımcılara ayı piyasalarında pasif portföy yönetim stratejileri izlemeleri, boğa piyasalarında ise aktif portföy stratejileri izlemeleri önerilebilir. Ancak böyle bir önerinin etkili olarak geçerli olabilmesi için piyasa etkinliğinin de ayrı olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Çalışmanın tek bir piyasa üzerine ve tek bir portföy optimizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiş olması bir eksiklik olarak ifade edilebilir. Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda optimizasyon süreci ile piyasa etkinliğinin bir arada değerlendirilmesinin, ortalama varyans, yarı varyans, indeks modelleri gibi diğer optimizasyon modellerinin de analizlere dahil edilmesinin ve analizlerin farklı ülke piyasaları için gerçekleştirilmesinin sonuçların genelleştirilmesi anlamında, literatüre katkı sağlayacağı söylenebilir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, Ş. (2008). An Analysıs of Busıness Cycles Under Regime Shifts: The Turkish Economy and Industrial Sector. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 23(2):135-151.

Affenzeller, M., Wagner, S., Winkler, S., and Beham, A. (2009). *Genetic Algorithms and Genetic Programming: Modern Concepts and Practical Applications*. (1. Edition) USA: Crc Press, Taylor and Finance Group.

Akgül, I., Koç, S. ve Koç, S.Ö. (2007). *Cari İşlemler Dengesi Rejim Değişim Modelleri ile Modellenebilir mi?* 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresinde sunuldu, İnönü Üniversitesi. Malatya.

Akıncı, M. (2008). *Zaman Serilerinde Durağanlık Analizi ve İhracatın GSMH İçindeki Payı Üzerine Bir Uygulama*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kars.

Aksoy, E.E. (2014). *Uluslararası Portföy Yönetimi* (1. Baskı). Ankara: Detay Yayıncılık.

Aksöyek, İ. ve Yalçıner, K. (2011). *Çözümlü Problemleriyle Finansal Yönetim* (1. Baskı). İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Aliev, R., Abiyev, R. and Menekay, M. (2008). Fuzzy Approach to Portfolio Selection Using Genetic Algorithms. *Intelligent Automation and Soft Computing,* 14(4):525-540.

Altuğ, S. ve Bildirici, M. (2010). Business Cycles Around The Globe: A Regime Switching Approach. *Working Paper 1009*. TÜSİAD-KOÇ Unıversity Economic Research Forum Working Paper Series.

Amling, F. (1978). *Investments: An Introduction to Analysis and Management*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Aracıoğlu, B., Demircan, F. ve Soyuer, H. (2011). Mean–Variance–Skewness–Kurtosis Approach to Portfolio Optimization: An Application in İstanbul Stock Exchange. *Ege Akademik Bakış*, 11(Özel Sayı):9-17.

Arnold, G. (2013). *Corporate Financial Management* (5. Edition). England: Pearson Education Limited.

Arora, S.J. (1997). *Guide to Structural Optimization.* (1. Edition). USA:American Society of Civil Engineers.

Aslantaş, C. (2008). *Portföy Yönetiminde Fuzzy Yaklaşım*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Asteriou, D. and Hall, S.G. (2012). *Applied Econometrics* (2. Edition). UK: Palgrave Macmillan.

Atakan, T. (2008). İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Haftanın Günü Etkisi ve Ocak Ayı Anomalilerinin ARCH-GARCH Modelleri ile Test Edilmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi,* 37(2):98-110.

Athaydea, G.M. and Flores, R.G. (2004). Finding a Maximum Skewness Portfolio— a General Solution to Three-Moments Portfolio Choice. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 28(7):1335 – 1352.

Ayan, T.Y. ve Akay, A. (2013). Tahmine Dayalı Portföy Optimizasyonu: Modern Portföy Teorisinde Risk ve Beklenen Getiri Kavramlarına Alternatif Bir Yaklaşım. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, EYİ, Özel Sayısı:119-132.

Aydoğan, Y. (2013). *Hisse Senedi ve Bono Getirilerinin Doğrusal Olmayan Modellemelerle Analizi: Türkiye Örneği*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Eğe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Bali, T.G., Hu, J. and Murray, S. (2016). Option Implied Volatility, Skewness, and Kurtosis and the Cross-Section of Expected Stock Returns. *Georgetown McDonough School of Business Research Paper*. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2322945.

Barışık, S. ve Demircioğlu, E. (2006). Türkiye'de Döviz Kuru Rejimi, Konvertibilete, İhracat-İthalat İlişkisi (1980-2001). *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3):71-84.

Başkaya, Z. (2011). *Bulanık Doğrusal Programlama.* Bursa: Ekin Basım Yayın.

Bawa, V.S. (1975). Optimal Rules for Ordering Uncertain Prospects. *Journal of Financial Economics,* 2(1):95-121.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri.* Ankara: Bıçaklar Kitabevi.

Beach, S.L. and Orlov, A.G. (2007). An Application of the Black–Litterman Model with EGARCH-M Derived Views for International Portfolio Management. *Financial Markets and Portfolio Management*, 21(2):147–166.

Beardsley, X.W., Field, B. and Xiao, M. (2012). Mean-Variance-Skewness-Kurtosis Portfolio Optimization with Return and Liquidity. *Communications in Mathematical Finance,* 1(1):13-49.

Bekçi, İ. (2001). *Optimal Portföy Oluşturulmasında Bulanık Doğrusal Programlama Modeli ve İmkb'de Bir Uygulama*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

Bekçioğlu, S. (1984). Portföy Yaklaşımları ve Markowitz Portföy Yaklaşımının Türk Hisse Senedi Piyasasına Uygulanması. *Ankara Üniversitesi İşletme Dergisi*.

Belal, M., Gaber, J., El-Sayed, H. and Almojel, A. (2006). *Swarm Intelligence. Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications*. USA: Taylor&Francis Group.

Benrnstein, P. L. (1997). *Sermaye Üzerine Büyük Düşünceler Çağdaş Wall Street'in İnanılmaz Kökleri.* Çeviren: Sinan Gürtunca. Ankara: Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları

Bernstein, W. and Wilkinson, D (1997). Diversification, Rebalancing, and the Geometric Mean Frontier. *Social Science Research Network*, 1-27

Bessler, W., Opfer, H. and Wolff, D. (2017). Multi-Asset Portfolio Optimization and Out-Of-Sample Performance: An Evaluation of Black–Litterman, Mean-Variance, and Naive Diversification Approaches. *The European Journal of Finance*, 23(1):1-31

Best, M.J. (2010). *Portfolio Optimization* (1.Edition). London: CRC Press.

Bhattacharyya, R., Hossain, S.A. and Kar, S. (2014). Fuzzy Cross-Entropy, Mean, Variance, Skewness Models For Portfolio Selection. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 26:79–87.

Bhattacharyya, R., Kar, S. and Majumder, D.D. (2011). Fuzzy Mean–Variance–Skewness Portfolio Selection Models by Interval Analysis. *Computers and Mathematics with Applications,* 61(1):126–137.

Bilbao, A.T., Perez, B.G. and Antomil, J.I. (2006). Selecting The Optimum Portfolio Using Fuzzy Compromise Programming and Sharpe's Single-Index Model. *Applied Mathematics and Computation,* 182(1):644-664.

Bildirici, M., Alp, E.A., Bozoklu, Ü. ve Ersin, Ö.Ö. (2010). *İktisatta Kullanılan Doğrusal Olmayan Zaman Serisi Yöntemleri*. İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Birgili, E., Sekmen, F. ve Esen, S. (2013). Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Finansal Yönetim Uygulamaları: Bir Literatür Taraması. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi,* 9(19):121-136.

Björk, T., Murgoci, A. and Zhou, X.Y. (2014). Mean–Variance Portfolio Optimization With State-Dependent Risk Aversion. *Mathematical Finance,* 24(1):1–24.

Black, F. and Litterman. R. (1991). *Global Asset Allocation With Equities, Bonds and Currencies, Fixed Income Research*. Canada: Goldman Sachs & Co.

Black, F. and Litterman, R. (1992). Global Portfolio Optimization. *Financial Analysts Journal,* 48(5) :28-43.

Bodie, Z., Kane, A. and Marcus, A.J. (2014). *Investments* (20. Edition). Newyork: McGraw-Hill.

Bolak, M. (2001). *Sermaye Piyasası: Menkul Kıymetler ve Portföy Analizi* (4. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayın.

Borandağ, F. (2013). *Çok Amaçlı Portföy Optimizasyonu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Bozdağ, N., Altan, Ş. ve Duman, S. (2005). Minimaks Portföy Modeli ile Markowitz Ortalamavaryans Portföy Modelinin Karşılaştırılması. *VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumunda sunuldu*. İstanbul Üniversitesi, İnternet Adresi: http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o24s1.pdf. Erişim Tarihi: 16.08.2016.

Bozdağ, N. ve Türe, H. (2008). Bulanık Doğrusal Programlama Ve İMKB Üzerine Bir Uygulama. Ankara: *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,10:1-18.

Bozdağlıoğlu, E.Y. (2010). Türkiye'ye Gelen Doğrudan Yabancı Sermaye Yatırımlarının Türkiye'nin İhracat Performansına Etkilerinin Analizi. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.

Brealey R.A., Myers S.C. and Marcus A.J. (2001). *Fundamentals of Corporate Finance* (3. Edition). New York: The McGraw-Hill Companies.

Briec, W., Kristiaan, K. and Jokung, O. (2007). Mean-Variance-Skewness Portfolio Performance Gauging: A General Shortage Function and Dual Approach. *Management Science,* 53(1):135-149.

Briec, W., Kristiaan, K. and Ignace V.W. (2013, 21-22 March). *Risk-Loving and Risk-Averse Preferences in Mean-Variance-Skewness-Kurtosis Portfolio Modeling: A Common Characterization using the Shortage Function*. Conference European Workshop on Efficiency and Productivity Analysis Finland: Helsinki.

Brigham E. F. and Houston, J. F. (2003). *Fundamentals of Financial Management* (10. Edition). Boston: Cengage Learning.

Britten Jones, M. (1999). The Sampling Error in Estimates of Mean-Variance Efficient Portfolio Weights. *The Journal of Finance*, 54(2):655–671.

Brocas, I, Carrillo, J.D., Giga, A. and Zapatero, F. (2016). Skewness Seeking in a Dynamic Portfolio Choice Experiment. *CEPR Discussion Paper No. DP11056*. https://ssrn.com/abstract=2723317.

Brooks, C. (2014). *Introductory Econometrics for Finance*. (3. Edition). New York: Cambridge University Press.

Cai, X., Teo, K.L., Yang, X.Q. and Zhou, X.Y. (2004). Minimax Portfolio Optimization: Empirical Numerical Study. *Journal of the Operational Research Society*, 55(1):65–72.

Cai, X., Teo, K.L., Yang, X.Q. and Zhou, X.Y. (2000). Portfolio Optimization Under a Minimax Rule. *Management Science,* 46(7):957-972.

Cebeci, M. (2011). Bulanık Doğrusal Programlama ile Portföy Optimizasyonu. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ceylan, A. ve Korkmaz, T. (1998). *Borsada Uygulamalı Portföy Yönetimi* (2.Baskı). Bursa: Ekin Yayınları.

Chamberlain, G. and Rothschild, M. (1982). Arbitrage, Factor Structure, and Mean-Variance Analysis on Large Asset Markets. *Econometrica*, 51(5):1281-1304.

Chamberlain, T.W., Cheung, C.S., and Kwan, C.C.Y. (1990) Optimal Portfolio Selection Using the General Multi-Index Model: A Stable Paretian Framework. *A Journal of The Decision Sciences Instutite.* 21(3):475-672.

Chan, K.S. and Tong, H. (1986). On Estimating Thresholds in Autoregressive Models. *Journal of Time Series Analysis,* 7(3):179-190.

Chang, C.T. (2005). A Modified Goal Programming Approach for The Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model. *Applied Mathematics and Computation*, 171(1):567–572.

Christy, A.G. and Clendenin, C.J. (1974). *Introduction to Investmements* (6.Edition). Newyork: McGraw-Hill Book Company.

Civan, M. (2010). *Sermaye Piyasası Analizleri ve Portföy Yönetimi* (1. Baskı). Bursa: Ekin Yayınevi.

Clarke, R.G. Silva, H. and Thorley, S. (2006). Minimum-Variance Portfolios in the U.S. Equity Market. *The Journal of Portfolio Management,* 33(1):10-24.

Cohen, K.J. and Pogue, J.A. (1967). An Empirical Evaluation of Alternative Portfolio Selection Models. *Journal of Business,* 40(2):166-193.

Collins, R.A. and Barry, P.J. (1986). Risk Analysis with Single-Index Portfolio Models: An Application to Farm Planning. *American Journal of Agricultural Economics,* 68(1):152-161.

Cong, F. and Oosterlee, C.W. (2016). Multi-Period Mean–Variance Portfolio Optimization Based on Monte-Carlo Simulation. *Journal of Economic Dynamics and Control,* 64:23-38.

Constantinides, G.M. and A.G. Malliaris. (1995). Portfolio Theory. *In Handbooks in OR & MS. Elsevier Science B.V.,* 9:1-30

Costa, O. L. V., and Nabholz, R. B. (2002). A Linear Matrix Inequalities Approach to Robust Mean Semi-Variance Portfolio Optimization. Kluwer Applied

Optimization Series: Computational Methods in Decision-Making. *Economics And Finance*, 74:87–105.

Covello, V.T. and Mumpower, J. (1985). Risk Analysis and Risk management: An Historical Perspective. *Society of Risk Analysis,* 5(2):103-120.

Çalışkan, M.M.T. (2010). *Black Litterman Modeliyle Portföy Optimizasyonu: İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Markowitz Ortalama Varyans Modeliyle Karşılaştırmalı Portföy Optimizasyonu Uygulaması.* Yayımlanmamış Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Çelenli, A.Z. (2013). *Parçacık Sürü Optimizasyonuna Dayalı Portföy Optimizasyonu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Samsun.

Çevik, E.İ., Çevik, N.K. ve Gürkan,S. (2012). ABD, Almanya ve Türkiye Hisse Senedi Piyasaları Arasındaki İlişkinin MS-VAR Modeli ile Analizi. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar,* 6(1):133-155.

Çevik, O. ve Yıldırım, Y. (2010). Bulanık Doğrusal Programlama ile Süt Ürünleri İşletmesinde Bir Uygulama. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 12(18):15-26.

Demirel, E. (2012). *Finansal Piyasa Analizleri ve Portföy Yönetimi* (1. Baskı). İstanbul: Kriter Yayınevi.

Demirelli, Y. (2014). *Yapay Zeka Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Portföy Optimizasyonu ve İMKB Üzerine Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Deng, G.F., Lin, W.T. and Lo, C.C. (2012). Markowitz-Based Portfolio Selection with Cardinality Constraints Using Improved Particle Swarm Optimization. *Expert Systems with Applications,* 39:4558–4566.

Deng, X.T., Li, Z.F. and Wang, S.Y. (2005). A Minimax Portfolio Selection Strategy with Equilibrium. *European Journal of Operational Research*, 166(1):278–292.

Dewandaru,G., Masih, R., Bacha, O.I., Mansur, A. and Masih, M. (2015). Combining Momentum, Value, and Quality For The Islamic Equity Portfolio: Multi-Style Rotation Strategies Using Augmented Black Litterman Factor Model. *Pacific-Basin Finance Journal*, 34:205–232.

Dickey, D.A. and Fuller, W.A. (1974). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a):427-431

Dickey, D.A. and Fuller, W.A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica*, 49(4):1057-1072

Drobetz, W. (2001). How to Avoid the Pitfalls in Portfolio Optimization? Putting the Black-Litterman Approach at Work. *Fınancial Markets And Portfolio Management*, 15(1):59-75.

Elton, E.J. and Gruber, M.J. (1974). On the Maximization of the Geometric Mean with Lognormal Return Distribution. *Management Science*, 21:483-488.

Elton, E.J. and Gruber, M.J. (1995). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis* (5. Edition). UK: John Wiley & Sons Ltd.

Elton, E.J., Gruber, M.J., Brown, S.J. and Goetzmann, W.N. (2014). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis* (9. Edition). USA: John Wiley & Sons Ltd.

Enders, W. (1995). *Applied Econometric Time Series*. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Engin, O. ve Fığlalı, A. (2002). Akış Tipi Çizelgeme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı ile Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6:27-35.

Ercan, M.K. ve Ban, Ü. (2010). *Değere Dayalı İşletme Finansı, Finansal Yönetim* (6.Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.

Erdaş, M.L. ve Demir, Y. (2016). Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemiyle Bir Portföy Optimizasyonu Modelinin Geliştirilmesi: BİST30 Endeksinde Bir Uygulama. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(45):768-789

Ergül, N. (2009). Ulusal Hisse Senetleri Piyasası'nda Etkinlik. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 7(1):101-117.

Ertuna İ. Ö. (1998) *Yatırım Ve Portföy Analizi*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Estrada, J. (2010). Geometric Mean Maximization: An Overlooked Portfolio Approach*?, Journal of Investing.* 19(4):134–147.

Estrada, J. (2015). Mean-Semivariance Optimization: A Heuristic Approach. *Journal of Applied Finance*, 18(1):1-22.

Fabozzi, F.J., Focardi, S.M., Rachev, S.T., Arshanapalli, B.G. and Höchstötter, M. (2014). *The Basics of Financial Econometrics* (1. Edition). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Fabozzi, F.J. and Francis, J.C. (1977). Stability Tests for Alphas and Betas Over Bull and Bear Market Conditions. *The Journal of Finance*, 32(4):1093-1099.

Fabozzi, F.J., Kolm, P.N., Pachamanova, D.A. and Focardi, S.M. (2007). *Robust Portfolio Optimization and Management* (1. Edition). New Jersey: John Wiley & Sons.

Fabozzi, F.J. and Markowitz, H. (2002). *The Theory and Practice of Investment Management* (1. Edition). New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

Fabozzi, F.J., Martellini, L. and Priaulet, P. (2006). *Advanced Bond Portfolio Management*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*. 25(2):383-417.

Fama, F.E. and French, K.R. (1993).Common Risk Factors in the Returns on Stocks and Bonds. *Journal of Financial Economics,* 33(1):3-56.

Fama, F.E. and French, K.R. (1996). Multifactor Explanations of Asset-Pricing Anomalies. *Journal of Finance,* 51(1):55-84.

Fang, Y., Lai, K.K. and Wang, S. (2008). *Fuzzy Portfolio Optimization Theory and Methods.* Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Farias, C.A., Vieira, W.C. and Santos, M.L. (2006). Portfolio Selection Models: Comparative Analysis and Applications to The Brazilian Stock Market. *Revista de Economia e Agronegócio*, 4(3):387-408.

Farrell, J.L. (1976). The Multi-Index Model and Practical Portfolio Analysis. *Research Foundation Publications*, 1976(3):1-48.

Feldstein, M.S. (1969). Mean-Variance Analysis in the Theory of Liquidity Preference and Portfolio Selection. *The Review of Economic Studies,* 36(1):5-12.

Fishburn, P. C. (1977). Mean-Risk Analysis with Risk Associated with Below-Target Returns. *The American Economic Review*, 67(2):116–126.

Fisher, D.E. and Jordon, R.J. (1979) *Security Analysis and Portfolio Management* (2. Edition). New Jersey: Prentice Hall.

Francis, J.C. and Archer, S.H. (1979). *Portfolio Analysis* (1.Edition). New Jersey: Prentice Hall.

Francis, J.C. and Kim, D. (2013). *Modern PortfolioTheory*. Kanada: John Wiley & Sons Ltd.

Franses P.H. and Dijk, D. V. (2000). *Nonlinear Time Series Models in Empirical Finance* (1. Edition). Newyork: Cambridge Universtiy Press.

Franses P.H. and Dijk, D. V. (2003). *Nonlinear Time Series Models in Empirical Finance* (2. Edition). Newyork: Cambridge Universtiy Press.

Franses, P.H., Dijk, D.V. and Opschoor, A. (2014). *Time Series Models for Business and Economic Forecasting* (2. Edition). UK: Cambridge University Press.

Gacener Atış, A. (2008). *Türkiye'de Denge Döviz Kurunun Belirlenmesinde Portföy Yaklaşımı*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Gen, M., and Cheng, R. (2000). *Genetic Algorithm and Engineering Optimization*. (1. Edition). New York: John Wily and Sons.

Gharakhani, M. and Sadjadi, S.J. (2013). A Fuzzy Compromise Programming Approach for the Black-Litterman Portfolio Selection Model. *Decision Science Letter*, 2:11-22.

Granger, C.W.J and Newbold, P. (1974). Spurious Regressions in Econometrics. Journal of Econometrics, 2(2):111-120.

Greene, W.H. (2012). *Econometric Analysis*. (7. Edition). UK: Pearson Education Limited.

Grover, J. and Lavin, A.M. (2007). Modern Portfolio Optimization A Practical Approach Using an Excel Solver Single-Index Model. *The Journal of Wealth Management*, 10(1):60-72.

Guidolin, M. and Timmermann, A. (2007). Optimal Portfolio Choice under Regime Switching, Skew and Kurtosis Preferences. *Journal Economic Dynamic Control*, 31:3503–3544.

Gujarati, D.N. and Porter, D.C. (2009). *Basic Econometrics*. New York: McGraw-Hill Irwin.

Gupta, P., Mehlawat, M.K. and Saxena, A. (2008). Asset Portfolio Optimization Using Fuzzy Mathematical Programming. *Information Sciences*, 178:1734–1755.

Gülcan, B. (2012). Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.

Gündoğdu, Ö. (2003). Bulanık Mantıkla Modelleme. *Ekev Akademi Dergisi*, 7(15):255-264.

Güngör, İ., Aycan, M. ve Demir, Y. (2005). Bulanık Ortamda Portföy Optimizasyonu. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10:104-120.

Güran, C.B. (2015). *İkinci Derece Stokastik Baskınlıkta Verimlilik Testi ve Bulanık Mantık Yaklaşımı ile İki Aşamalı Bir Portföy Optimizasyonu*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hakansson, N. (1974). Comment on Merton and Samuelson. *Journal of Financial Economics*, 1(1):95.

Hamilton, J. D. (1989). A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle. *Econometrica*, 57(2):357-384.

Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. New Jersey:Princeton University Press.

Hansen, K. B. (1996). *Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems.* Novo Scotia: Terms Paper for Fuzzy Course at Technical University of Nova Scotia.

Harvey, C.R., Liechty, J.C., Liechty, M.W. and Müller, P. (2010). Portfolio Selection with Higher Moments. *Quantitative Finance*, 10(5):469-485.

He, G. and Litterman,R. (1999). The Intuition Behind Black-Litterman Model Portfolios. Technical Reports. *Goldman Sachs Investment Management Series Fixed Income Research*, 1-20.

Hicks, J.R. (1935). A Suggestion for Simplifying the Theory of Money. *Economica*, 2(5):1-19.

Hoos, H. H. and Stützle, T. (2005). *Stochastic Local Search: Foundations and Applications*. Germany:Morgan Kaufmann Publishers.

Huang, X. (2008). Mean-Semivariance Models For Fuzzy Portfolio Selection. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 217(1):1-8.

Huang, X. and Qiao, L. (2012). A Risk Index Model for Multi-Period Uncertain Portfolio Selection. *Information Sciences*, 217:108-116.

İskenderoğlu, Ö. ve Karadeniz, E. (2011). Optimum Portföyün Seçimi: İMKB 30 Üzerinde Bir Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(2):235-257.

Jacobs, B.I. and Levy, K.N. (2006). Enhanced Active Equity Strategies. *The Journal of Portfolio Management*, 32(3):45-55.

John, G., Nelson, P. and Reetu, V. (2007). Unit Root Tests and Structural Breaks: a Survey with Applications. *Revısta de m´etodos Cuantıtatıvos Para la Economia Y La Empresa*, 3:63-79.

Jones, R.C., Lim, T. and Zangari, P.J. (2007). The Black-Litterman Model for Structured Equity Portfolios. *The Journal of Portfolio Management*, 33(2):24-33.

Kabakçı, A. (2013). *Portföy Yönetimi* (1. Baskı). İzmir: İlkem Yayınevi.

Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica: Journal of The Econometric Society*, 47(2):263-292.

Kang, T., Brorsen, B.W. and Adam, B.D. (1996). A New Efficiency Criterion: The Mean- Separated Target Deviations Risk Model. *Journal of Economics and Business,* 48:47-66.

Karan, M.B. (2011). *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi* (3. Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.

Kardiyen, F. (2008). Portföy Optimizasyonunda Ortalama Mutlak Sapma Modeli ve Markowıtz Modelinin Kullanımı ve İMKB Verilerine Uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(2):335-350.

Kayalıdere, K ve Aktaş, H. (2008) Alternatif Portföy Seçim Modellerinin Performanslarının Karşılaştırılması (İMKB Örneği). *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(1):290-312.

Kayhan, S., Bayat, T. ve Koçyiğit, A. (2013). Enflasyon Hedeflemesi Rejiminde Öğrenme Süreci ve Asimetri: Markov Switching Yaklaşımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(1):191-212.

Kemalbay, G. (2008). *Konveks Olmayan Çok Kriterli Optimizasyon ve Portföy Seçim Problemi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kennedy, J. and Eberhart, R.C. (1995). *Particle Swarm Optimization*. In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, Australia.

Kırcı Çevik, N. (2012). *Para ve Maliye Politikaları Arasındaki Etkileşimin Zaman Serileri ile Analizi: Türkiye Örneği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Kim, M.K. and Zumwalt, K. (1979). An Analysis of Risk in Bull and Bear Markets. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 14(5):1015-1025.

Kim, W.C., Fabozzi, F.J., Cheridito, P. and Fox,C. (2014). Controlling Portfolio Skewness and Kurtosis Without Directly Optimizing Third and Fourth Moments. *Economics Letters,* 122(2):154–158.

Kocadağlı, O. (2006). Bulanık Matematiksel Programlama ve Portföy Analizi Uygulaması. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kocadağlı, O. ve Cinemre, N. (2010). Portföy Optimizasyonunda SVFM ile Bulanık Doğrusal Olmayan Model Yaklaşımı. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 39(2):359-369.

Kocadağlı, O. and Keskin, R. (2015). A Novel Portfolio Selection Model Based on Fuzzy Goal Programming With Different Importance and Priorities. *Expert Systems with Applications*, 42:6898–6912.

Koç, S. (2008). *Tek ve Çok Değişkenli Rejim Değişim Modellerinin Türkiye Ekonomik Göstergelerine Uygulanması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Konak, F. ve Bağcı, B. (2016). Fuzzy Linear Programming on Portfolio Optimization: Empirical Evidence from FTSE 100 Index. *Global Journal of Management and Business Research: C Finance,* 16(2):65-69.

Konno, H. and Yamazaki, H. (1991). Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market. *Management Science,* 37(5):519-531.

Konno, H., Shirakawa, H. and Yamazaki, H. (1993). A Mean-Absolute Deviation-Skewness Portfolio Optimization Model. *Annals of Operations Research*. 45(1):205-220.

Konno, H. and Suzuki, K. (1995). A Mean-Variance-Skewness Portfolio Optimization Model. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 38(2):174-187.

Konno,H. and Wljayanayak, A. (1999). Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model Under Transaction Costs. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 42(4):422-435.

Konno, H. and Yamamoto, R. (2005). A Mean-Variance-Skewness Model: Algorithm and Applications. *International Journal of Theoretical and Applied Finance,* 8(4):409–423.

Konuralp, G. (2005). *Sermaye Piyasaları Analizler, Kuramlar ve Portföy Yönetimi* (2. Baskı). İstanbul: Alfa Yayınları.

Korkmaz, T., Aydın, N. ve Sayılgan, G. (2013). *Portföy Yönetimi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.

Koy, A. (2016). Borsa İstanbul'un Doğrusal Olmayan Dinamiklerinin Markov Rejim Değişim Modelleriyle Açıklanması. *1. Lisansüstü İşletme Öğrencileri Sempozyomu Bildiriler Kitabı, Gaziantep Üniversites* 176-180.

Koy, A., Çetin, G. ve Ersan, İ. (2016). Uluslararası Kıymetli Metal Piyasalarının Rejim Dinamikleri. *Maliye Finans Yazıları*, 107:25-40.

Krolzig, H. M. (1997). *Markov Switching Vector Autoregressions: Modeling, Statistical Inference, and Application to Business Cycle Analysis*. Berlin: Springer Verlag.

Krolzig, H. M. (1998). Econometric Modeling of Markov-Switching Vector Autoregressions using MSVAR for Ox. *Oxford University Manuscript*.

Kutlar, A. (2000). *Ekonometrik Zaman Serileri* (1.Baskı). Ankara: Gazi Kitapevi.

Küçükbay, F. and Araz, C. (2016). Portfolio Selection Problem: A Comparison of Fuzzy Goal Programming and Linear Physical Programming. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*, 6(2):121-128.

Küçüksille, E. (2009). *Veri Madenciliği Süreci Kullanılarak Portföy Performansının Değerlendirilmesi ve İMKB Hisse Senetleri Piyasasında Bir Uygulama.* Yayımlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

Kwan, C.C.Y. (1984). Portfolio Analysis Using Single Index, Multi-Index, and Constant Correlation Models: A Unified Treatment. *The Journal of Finance*, 39(5):1469-1483.

Kwiatkowski, D., Phillips, P.C.B., Schmidt, P. and Shin, Y. (1992). Testing the Null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root: How Sure Are We That Economic Time Series Have a Unit Root? *Journal of Econometrics*, 54:159-178.

Lai, K. K., Yu, L. and Wang, S. (2006). Mean-Variance-Skewness-Kurtosis-based Portfolio Optimization. *Proceedings of the First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences*, 2:292-297.

Lai, T.Y. (1991). Portfolio Selection with Skewness: A Multiple-Objective Approach. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 1:293-305.

Latane, H. (1959). Criteria for Choice Among Risky Ventures. *Journal of Politicial Economy*, 67:144-155.

Latane, H. and Tuttle, D. (1967). *Security Analyses and Portfolio Management*. (1. Edition). Newyork: The Ronald Press.

Leavens, D.H. (1945). Diversification of Investments. *Trusts and Estates*, 80:469-473.

Levy, M. and Roll, R. (2010). The Market Portfolio May Be Mean/Variance Efficient After All: The Market Portfolio. *The Review of Financial Studies*, 23(6):2464-2491.

Li, C.W. and Li, W.K. (1996). On a Double-Threshold Autoregressive Heteroscedastic Time Series Model. *Journal of Applied Econometrics*, 11(3):253-274.

Li, P., Han, Y. and Xia, Y. (2016). Portfolio Optimization Using Asymmetry Robust Mean Absolute Deviation Model. *Finance Research Letters*, 18:353–362.

Lillo, F. and Mantegna, R.N. (2001). Empirical Properties of The Variety of A Financial Portfolio and The Single-Index Model. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, 20(4):503–509.

Lintner, J. (1965). The Valuation of Risky Assets: The Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. *Review of Economics and Statistics*, 47(1):13-37.

Litterman, R. B. (2003). *The Quantitative Resources Group, Modern Investment Management- An Equilibrium Approach* (1.Edition). New Jersey: John Wiley & Sons. Ltd.

Liu, Y.C., Wang, T., Gao, L., Ren, P. and Liu, B.Z. (2005, 8-21 August). *Fuzzy Portfolio Optimization Model Based on Worst-Case Var*. IEEE. Fourth Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, China.

Liu, Y.J. and Zhang, W.G. (2015). A Multi-Period Fuzzy Portfolio Optimization Model With Minimum Transaction Lots. *European Journal of Operational Research*, 242:933–941.

Lloyd, W.P. and Shick, R.A. (1977). A Test of Stone's Two-Index Model of Returns. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 12(3):363-376.

Lwin, K.T., Qu, R. and MacCarthy, B.L. (2017). Mean-VaR Portfolio Optimization: A Nonparametric Approach. *European Journal of Operational Research*, 260(2):751–766.

Madura, J. (2008). *International Financial Management* (9. Edition). USA: Thomson Higher Educaiton.

Mankert, C. (2006). *The BlackLitterman Model – Mathematical and Behavioral Finance Approaches Towards its Use in Practice*. Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden.

Mansini, R., Ogryczak, W. and Speranza, M.G. (2014). Twenty Years of Linear Programming Based Portfolio Optimization. *European Journal of Operational Research*, 234:518–535

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1):77-91.

Markowitz, H. (1959). *Portfolio Selection Efficient Diversification of Investments*. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Markowitz, H. (1991). Foundations of Portfolio Theory. *The Journal Of Finance*, 46(2):469–477.

Markowitz, H. (1999). The Early History of Portfolio Theory: 1600-1960. *Financial Analysts Journal*, 55(4):5-16.

Markowitz, H., Todd, P., Xu, G. and Yamane, Y. (1993). Computation of Mean-Semivariance Efficient Sets by The Critical Line Algorithm. *Annals of Operations Research*, 45(1):307–317.

Marschak, J. (1938). Money and The Theory of Assets. *Econometrica*, 6:311-325.

Martellini, L. and Ziemann, V. (2007). Extending Black-Litterman Analysis Beyond the Mean-Variance Framework. *The Journal of Portfolio Management*, 33(4):33-44.

Mayo, B.H. (2007). *Investments, an Introducion* (9.Edition). USA: Thomson Higher Educaiton.

Mcaleer, M. and Viega, B. (2008). Single-Index and Portfolio Models for Forecasting Value-At-Risk Thresholds. *Journal of Forecasting*, 27(3):217-235.

Mills, T.C. (1995). Modelling Skewness and Kurtosis in the London Stock Exchange FT-SE Index Return Distributions. *Journal of the Royal Statistical Society*, Series D (The Statistician), 44(3):323-332.

Mishkin, F. S. (2007). *Globalization and Systemic Risk: Systemic Risk and the International Lender of Last Resort*. New Jersey: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Mohamed, Z., Mohamed, D. and Samat, O. (2010). Portfolio Selection Using Fuzzy Mean-Variance Approach. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8):3713-3720.

Mossin, J. (1966). Equilibrium in Capital Asset Market. *Econometrica*, 34:768-783.

Mut, A. D. (2009). *Alt Kısmî Moment ve Yarı-Varyans Risk Modelleri Kullanarak Genetik Algoritma Yardımıyla Portföy Optimizasyonu: İMKB Uygulaması.* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Nakano, M., Takahashi, A. and Takahashi, S. (2017). Fuzzy Logic-based Portfolio Selection with Particle Filtering and Anomaly Detection. *Knowledge-Based Systems*, 131(1):113-124.

Nash, J. (1953). Two-Person Cooperative Games. *Econometrica*, 21(1):128-140.

Nguyen, T.T. and Gordon-Brown, L. (2012). Constrained Fuzzy Hierarchical Analysis for Portfolio Selection Under Higher Moments. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(4):666-682.

Novak, V. (2006). Which Logic is the Real Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 157:635-641.

Ogryczak, W. (2000). Multiple Criteria Linear Programming Model for Portfolio Selection. *Annals of Operations Research*, 97(1–4):143–162.

Özkan, M.M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama* (1.Baskı). Bursa: Ekin Kitabevi.

Özmen, Ş. (2001). *İş Hayatı Veri Madenciliği ile İstatistik Uygulamalarını Yeniden Keşfediyor*. V. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumunda sunuldu. Çukurova Üniversitesi, Adana.

Pafka, S. and Kondor, I. (2004). Estimated Correlation Matrices and Portfolio Optimization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 343:623–634.

Pagan A.R. and Sossounov, K.A. (2003). A Simple Framework for Analysing Bull and Bear Markets. *Journal of Applied Econometrics*, 18(1):23-46.

Pai, G.A.V. and Michel, T. (2010). *Fuzzy Decision Theory Based Optimization Of Constrained Portfolios Using Metaheuristics*. University Grants Commission. Major Research Project 2010, F.No. 39-125/2010(SR).

Paksoy,T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi*. (1. Baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Pala, O. ve Aksaraylı, M. (2016). Bulanık Hedef Programlama Tabanlı Yüksek Dereceden Momentlerle BİST30 Endeksinde Portföy Seçimi. *International Congress Of Management Economy And Policy (ICOMEP). Proceedings Book*, 4:3943-3960.

Pamela, P. and Fabozzi, J.F. (2010). *The Basics of Finance, An Introduction to Financial Markets, Busines Finance, and Portfolio Management*. Kanada: John Wiley & Sons Ltd.

Patterson, K. (2010). *A Primer for Unit Root Testing*. UK: Palgrave Macmillan.

Paya, M. (1997). *Makro İktisat* (1. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Pekkaya, M. (2011). *Arfima ve Figarch Yöntemlerinin Markowıtz Ortalama Varyans Portföy Optimizasyonunda Kullanılması: İMKB-30 Endeks Hisseleri Üzerine Bir Uygulama*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak.

Pelitli, D. (2007). *Portföy Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Uygulama Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.

Perold, F.A. (1984). Large-Scale Portfolio Optimization. *Management Science*, 30(10):1143-1160.

Perron, P. (1989). The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis. *Econometrica*, 57(6):1361-1401.

Phillips, P.C.B. and Perron, P. (1988), Testing for A Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2):335–346.

Pike, R. and Bill, N. (2009). *Corporate Finance and Investment Decisions and Strategies* (6.Edition). London: Financial Times Prentice Hall.

Polak, G.G., Rogers, D.F. and Sweeney, D.J. (2010). Risk Management Strategies via Minimax Portfolio Pptimization. *European Journal of Operational Research* 207:409–419.

Porter, R.B. and Gaumnitz, J.E. (1972)Stochastic Dominance vs. Mean-Variance Portfolio Analysis: An Empirical Evaluation. *The American Economic Review*, 62(3):438-446.

Qui, Z., Wang, D.Z.W. and Li, X. (2013). Mean-Semivariance Models For Portfolio Optimization Problem with Mixed Uncertainty Of Fuzziness And Randomness. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 21(1):127-143.

Qin Z., Wen,M. and GU, C. (2011). Mean-Absolute Deviation Portfolio Selection Model With Fuzzy Returns. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 8(4):61-75.

Rockafellar, R.T. and Uryasev, S. (2000). Optimization of Conditional Value-at-Risk. *Journal of Risk*, 2(3):21-41.

Rockafellar, R.T. and Uryasev, S. (2002). Conditional Value-At-Risk for General Loss Distributions. *Journal of Banking & Finance*, 26(7):1443-1471.

Reilly, F.K. and Brown, K.C. (2011). *Investment Analysis and Portfolio Management* (10. Edition). Boston: Cengage Learning.

Roll, R. (1992). A Mean/Variance Analysis of Tracking Error. *The Journal of Portfolio Management*, 18(4):13-22.

Rom, B.R. and Ferguson, K.W. (1993). Post-Modern Portfolio Theory Comes of Age. *The Journal of Investing*, 2(4):27-33.

Ross, S. (1976). The Arbitrage Theory of Capital Assets Pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3):341-360.

Roy, A.D. (1952). Safety First and the Holding of Assets. *Econometrica*, 20(3):431-449

Rubinstein. M. (2002). Markowitz's Portfolio Selection': A Fifty-year Reprospective. *The Journal of Finance*, 57(3):1041-1045.

Rubinstein. M. (2006). *A History of The Theory of Investments* (1. Edition). New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

Samuleson, P. (1958). The Fundamental Approximation Theorem of Portfolio Analysis in Terms of Means Variances And Higher Moments. *Review of Economic Studies*,25:65-86.

Samuleson, P. (1969). Lifetime Portfolio Selection by Dynamic Stochastic Programming. *Review of Economics and Statistics*, 51:139-146.

Santiago, R.D. and Estrada, J. (2013). Geometric Mean Maximization: Expected, Observed and Simulated Performance. *The Journal of Investing*, 22(2):109-119.

Saraç, T.B., İskenderoğlu, Ö. ve Akdağ, S. (2016). Yerli ve Yabancı Yatırımcılara Ait Risk İştahlarının İncelenmesi: Türkiye Örneği. *Sosyoekonomi*, 24(30):29-44.

Sarıkaya, G. ve Tatlıdil, H. (2013). Entropi Optimizasyon Ölçüsü ile Optimal Portföy Seçimi ve BİST Ulusal-30 Endeksi Üzerine Bir Çalışma. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ*. Özel Sayısı, 381-402.

Sarokolaei, M.A., Salteh, H.M. and Edalat, A. (2013). Presenting a Fuzzy Model for Fuzzy Portfolio Optimization with the Mean Absolute Deviation Risk Function. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2(3):1793-1799.

Sayılgan G. ve Mut A. D. (2010). Portföy Optimizasyonunda Alt Kısmî Moment ve Yarı-Varyans Ölçütlerinin Kullanılması. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, 4(1):47-73.

Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2007). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizleri: Eviews Uygulamalı* (2. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2010). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizleri: Eviews Uygulamalı* (3. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Sharpe, W.F. (1963). A Simplified Model for Portfolio Analysis. *Management Science*, 9(2):277-293.

Sharpe, W.F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *Journal of Finance*, 19(3):425-442.

Sharpe, W.F. (1999). *Portfolio Theory and Capital Markets.* New York: The McGraw-Hill Companies.

Sharpe, W.F., Gordon, J.A. ve Jeffery, V.B. (1998). *Investments* (6. Edition). New Jersey: Prentice Hall.

Silva, A.D., Lee, W. and Pornrojnangkool, B. (2009). The Black–Litterman Model for Active Portfolio Management. *The Journal of Portfolio Management*, 35(2):61-70.

Simaan, Y. (1997). Estimation Risk in Portfolio Selection: The Mean Variance Model Versus the Mean Absolute Deviation Model. *Management Science*, 43(10):1437-1446.

Solatikia, F., Kiliç, E. and Weber, G.W. (2014). Fuzzy Optimization for Portfolio Selection Based on Embedding Theorem in Fuzzy Normed Linear Spaces. *Organizacija Journal of Management, Informatics and Human Resources*, 47(2):90-97.

Sortino, F.A. and Price, L.N. (1994). Performance Measurement in a Downside Risk Framework. *Journal of Investing*, 3:50-58.

Sperandeo, V. (1990) *Principles of Professional Speculation*. Newyork: John Wiley & Sons Ltd.

Steinbach, M.C. (2001). Markowitz Revisited: Mean-Variance Models in Financial Portfolio Analysis. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 43(1):31–85.

Stone, B.K. (1974). Systematic Interest-Rate Risk in a Two-Index Model of Returns. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 9(5):709-721.

Sukandar, A.R., Manik, N.I. and Purnomo, F. (2014) Development of Stock Portfolio Optimization Application Program Using Fuzzy Linear Programming. *Applied Mathematical Sciences*, 8(86):4249 – 4259.

Şentürk, F. ve Fındık, H. (2014). Rasyonel Karar Alan Ekonomik Birimin Risk Altında Verdiği Kararlara Davranışsal Yaklaşım: Kahneman-Tversky Beklenti Teorisi Perspektifinden Eleştirel Bir Bakış. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*, 2(42):127-139.

Telatar, E., Türkmen, Ş. ve Teoman, Ö. (2002). Pamuk Borsalarında Oluşan Fiyatların Etkinliği. *Dokuz Eylül Üniversitesi .İ.İ.B.F. Dergisi*, 17(2):55-74.

Terasvirta, T. (1994). Specification, Estimation, and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models. *Journal of the American Statistical Association*, 89(425):208-218.

Thaler, R. and Russell, T. (1987). The Relevance of Quasi-Rationality in Competitive Markets. *American Economic Review*, 77(3):499-501.

Tobin, J. (1958). Liquidity Preference as Behavior Towards Risk. *Review of Economic Studies*, 25(1):65-86.

Tong, H. (1978). *On a Threshold Model in Pattern Recognition and Signal Processing*. Amsterdam: Sijhoff & Noordhoff.

Tong, H. (1983). *Threshold Models in Non-linear Time Series Analysis. Lecture Notes in Statistics*. New York: Springer-Verlag.

Tsaur, R.C. (2013). Fuzzy Portfolio Model with Different Investor Risk Attitudes, *European Journal of Operational Research*, 227(2):385-390

Tu, J. (2010). Is Regime Switching in Stock Returns Important in Portfolio Decisions?, *Working Paper*, Singapore Management University, 1-46.

Tuncel, S. Ö. (1997). *Bulanık Doğrusal Programlama*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkmen, N.C. (2017). *Konjonktürel Dalgalanma Modelleri Bağlamında Yeni Monetarist Yaklaşımın MS-VAR Modeli ile Analizi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Ulucan, A. (2004). *Portföy Optimizasyonu: Kuadratik Programlama Tabanlı Modelleme* (1.Baskı). Ankara: Siyasal Kitabevi.

Üstün, Ö. (2007). Çok Amaçlı Portföy Optimizasyon Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Van Horne, J.C ve Wachowicz, J.M. (2008). *Fundamentals of Financial Management* (13. Edition) Essex: Pearson Education Ltd.

Verdegay, J.L. (1982) *Fuzzy Mathematical Programming, in: M.M. Gupta, E. Sanchez (Eds.), Fuzzy Information and Decision Processes,* Amsterdam:North-Holland.

Wanga, B., Li, Y. and Watadac, J. (2017). Multi-Period Portfolio Selection With Dynamic Risk/Expected-Return Level Under Fuzzy Random Uncertainty. *Information Sciences*, 385(386):1-18.

Wang, L.X. (1997). *A Course in Fuzzy-Systems and Control* (1. Edition). Eastbourne: Prentice Hall Inc,.

Wang, S. and Xia, Y. (2002). *Portfolio Selection and Asset Pricing* (1.Edition). Berlin: Springer-Verlag.

Werners, B. (1987). An Interactive Fuzzy Programming System. *Fuzzy Sets and Systems,* 23:131-147.

Winston, W.L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. (4. Edition). Brooks: Duxbury Press

Yakut, E. ve Çankal, A. (2016). Çok Amaçlı Genetik Algoritma ve Hedef Programlama Metotlarını Kullanarak Hisse Senedi Portföy Optimizasyonu: BİST-30'da Bir Uygulama. *Business and Economics Research Journal*, 7(2):43-62.

Yan, J. and Chen, W. (2008, 2-4 July). *A Minimax Portfolio Selection Strategy Without Rist-Free Asset*. Control and Decision Conference. CCDC, Yantai, Shandong, China.

Yan, W., Miao, R. and Li,S. (2007). Multi-Period Semi-Variance Portfolio Selection: *Model And Numerical Solution*, 194(1):128-134.

Yavuz, M. (2012). *Yapay Sinir Ağları ile Portföy Optimizasyonu.* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Yıldırım, B. (2010). *Yapısal Kırılma Durumunda Birim Kök Testleri ve Gelir Yakınsaması Analizi: Avrupa Birliği'ne Üye ve Aday Ülkeler İçin*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, Ö. ve Kaya, V. (2004). Marmara Bölgesi Öngörü ve Benzetim Modeli. *Atatürk Üniversiresi Sosyal Bilimler Enstitü Dergisi*, 4(2):265-285.

Young, M.R. (1998). A Minimax Portfolio Selection Rule with Linear Programming Solution. *Management Science*, 44(5):673-683.

Yuan, M., Lin, X., Watada, J. and Kreinovich, V. (2015). Minimax Portfolio Optimization under Interval Uncertainty. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics.* Technical Report: UTEP-CS-14-71a.

Yuan, M. and Watada, J. (2014, 6-11 July). *A Minimax Model of Portfolio Optimization Using Data Mining to Predict Interval Return Rate*. Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). IEEE International Conference on, Beijing, China.

Yue, W. and Wang, Y. (2017). A New Fuzzy Multi-Objective Higher Order Moment Portfolio Selection Model for Diversified Portfolios. Physica A 465, 124–140.

Yücel, Ö. (2016). BİST Endekslerinin Risk Temelli Performans Karşılaştırması. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 4(4):151-164.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3):

Zhang, G., Wu, Y.H., Remias, M. and Lu, J. (2003). Formulation of Fuzzy Linear Programming Problems as Four Objective Constrained Optimization Problems. *Applied Mathematics and Computation*, 139:383-399.

Zhang, P. and Zhang, W.G. (2014). Multiperiod Mean Absolute Deviation Fuzzy Portfolio Selection Model with Risk Control and Cardinality Constraints. *Fuzzy Sets and Systems*, 255:74–91.

Zhang, Z. and Xu, J. (2008, 8-11 December). *A Mean-Semivariance Model for Stock Portfolio Selection in Fuzzy Random Environment*. Industrial Engineering and Engineering Management. International Conference on, Singapore.

Zhao, S., Lu, Q., Han, L., Liu, Y. and Hu, F. (2015). A Mean-Cvar-Skewness Portfolio Optimization Model Based on Asymmetric Laplace Distribution. *Annals of Operations Research*, 226(1):727–739.

Zhou, X.Y. and Yin, G. (2003). Markowitz's Mean-Variance Portfolio Selection with Regime Switching: A Continuous-Time Model. *Journal on Control and Optimization*, 42(4):1466-1482.

Zimmermann, H.J. (1983). Fuzzy Mathematical Programming. *Computers & Operations Research*, 10(4):291-298.

Zimmermann, H.J. (1991). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

EKLER

EK 1: Mart 2004 – Kasım 2007 Dönemi Üyelik Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu: $MinZ \sum_{t=1}^{T} \frac{y_t}{T}$

Min=(1/45)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25 +y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45);

Kısıt 1: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2, \ldots, T$

y1+0,061*X1 +0,011*X2 +0,006*X3 +0,088*X4 +0,04*X5 +0,214*X6 +0,082*X7 -0,004*X8 +0,064*X9 -0,003*X10 +0,2*X11 +0,106*X12 +0,032*X13 +0,284*X14 +0,04*X15 +0,003*X16 +0,059*X17 +0,119*X18 -0,078*X19+0,45*X20+0,157*X21+0,179*X22-0,055*X23 +0,301*X24 +0,037*X25 +0,044*X26 +0,063*X27-0,043*X28 +0,195*X29 +0,226*X30 +0,609*X31 +0,081*X32 +0,029*X33 +0,065*X34+0,06*X35 +0,07*X36 +0,134*X37 +0,049*X38 +0,007*X39 -0,059*X40 +0,011*X41 +0,42*X42 +0,12*X43 -0,023*X44 +0,075*X45 +0,075*X46 +0,033*X47 +0,047*X48 -0,042*X49 +0,084*X50 -0,026*X51-0,026*X52 +0,107*X53 +0,271*X54 +0,101*X55 +0,054*X56 +0,208*X57 -0,032*X58≥0;

……

y45+-0,086*X1-0,22*X2 -0,133*X3 -0,001*X4 +0,072*X5 -0,026*X6 -0,089*X7 -0,094*X8 -0,116*X9 +0,032*X10 -0,152*X11 -0,05*X12 -0,125*X13 -0,075*X14 +0,15*X15 -0,126*X16 -0,007*X17 -0,075*X18 +0,008*X19 -0,217*X20 -0,179*X21 -0,118*X22 -0,068*X23 -0,055*X24 -0,075*X25 -0,209*X26 -0,126*X27 -0,064*X28 -0,103*X29 -0,082*X30 -0,054*X31 -0,157*X32 -0,073*X33 -0,201*X34 -0,017*X35 +0,069*X36 +0,002*X37 -0,118*X38 -0,047*X39 -0,083*X40 -0,146*X41 -0,13*X42 -0,051*X43 -0,193*X44 -0,018*X45 -0,126*X46 -0,071*X47 -0,081*X48 -0,243*X49 -0,091*X50 -0,079*X51 -0,103*X52 -0,053*X53 -0,1*X54 -0,19*X55 -0,071*X56 -0,067*X57-0,085*X58≥0 ;

Kısıt 2: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2, \ldots, T$

y1-0,061*X1 +0,011*X2 +0,006*X3 +0,088*X4 +0,04*X5 +0,214*X6 +0,082*X7 -0,004*X8 +0,064*X9 -0,003*X10 +0,2*X11 +0,106*X12 +0,032*X13 +0,284*X14 +0,04*X15 +0,003*X16 +0,059*X17 +0,119*X18 -0,078*X19+0,45*X20+0,157*X21+0,179*X22-0,055*X23 +0,301*X24 +0,037*X25 +0,044*X26 +0,063*X27-0,043*X28 +0,195*X29 +0,226*X30 +0,609*X31 +0,081*X32 +0,029*X33 +0,065*X34 +0,06*X35 +0,07*X36 +0,134*X37 +0,049*X38 +0,007*X39 -0,059*X40 +0,011*X41 +0,42*X42 +0,12*X43 -0,023*X44 +0,075*X45 +0,075*X46 +0,033*X47 +0,047*X48 -0,042*X49 +0,084*X50 -0,026*X51 -0,026*X52 +0,107*X53 +0,271*X54 +0,101*X55 +0,054*X56 +0,208*X57 -0,032*X58≥0;

……

y45--0,086*X1-0,22*X2 -0,133*X3 -0,001*X4 +0,072*X5 -0,026*X6 -0,089*X7 -0,094*X8 -0,116*X9 +0,032*X10 -0,152*X11 -0,05*X12 -0,125*X13 -0,075*X14 +0,15*X15 -0,126*X16 -0,007*X17 -0,075*X18 +0,008*X19 -0,217*X20 -0,179*X21 -0,118*X22 -0,068*X23 -0,055*X24 -0,075*X25 -0,209*X26 -0,126*X27 -0,064*X28 -0,103*X29 -0,082*X30 -0,054*X31 -0,157*X32 -0,073*X33 -0,201*X34 -0,017*X35 +0,069*X36 +0,002*X37 -0,118*X38 -0,047*X39 -0,083*X40 -0,146*X41 -0,13*X42 -0,051*X43 -0,193*X44 -0,018*X45 -0,126*X46 -0,071*X47 -0,081*X48 -0,243*X49 -0,091*X50 -0,079*X51 -0,103*X52 -0,053*X53 -0,1*X54 -0,19*X55 -0,071*X56 -0,067*X57-0,085*X58≥0 ;

Kısıt 3: (Ƶ^{0} için) $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$

0,041*X1 +0,031*X2 +0,001*X3 +0,027*X4 +0,007*X5 +0,022*X6 +0,01*X7 +0,033*X8 +0,022*X9 +0,031*X10 +0,029*X11 +0,018*X12 +0,041*X13 +0,033*X14 +0,076*X15 +0,021*X16 +0,036*X17 +0,025*X18 +0,041*X19 +0,027*X20 +0,042*X21 +0,023*X22 +0,045*X23 +0,026*X24 +0,007*X25 +0,044*X26 +0,034*X27 +0,026*X28 +0,026*X29 +0,036*X30 +0,062*X31 +0,021*X32 +0,018*X33 +0,041*X34 +0,022*X35 +0,035*X36 +0,033*X37 +0,027*X38 -0,001*X39 +0,019*X40 +0,048*X41 +0,039*X42 +0,02*X43 +0,023*X44 -0,01*X45 +0,024*X46 +0,051*X47 +0,016*X48 +0,031*X49 +0,026*X50 +0,019*X51 +0,035*X52 +0,005*X53 +0,006*X54 +0,035*X55 -0,01*X56 +0,036*X57 +0,02*X58≥0,027;

Kısıt 3: (Ƶ^{1} için) $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$

0,041*X1 +0,031*X2 +0,001*X3 +0,027*X4 +0,007*X5 +0,022*X6 +0,01*X7 +0,033*X8 +0,022*X9 +0,031*X10 +0,029*X11 +0,018*X12 +0,041*X13 +0,033*X14 +0,076*X15 +0,021*X16 +0,036*X17 +0,025*X18 +0,041*X19 +0,027*X20 +0,042*X21 +0,023*X22 +0,045*X23 +0,026*X24 +0,007*X25 +0,044*X26 +0,034*X27 +0,026*X28 +0,026*X29 +0,036*X30 +0,062*X31 +0,021*X32 +0,018*X33 +0,041*X34 +0,022*X35 +0,035*X36 +0,033*X37 +0,027*X38 -0,001*X39 +0,019*X40 +0,048*X41 +0,039*X42 +0,02*X43 +0,023*X44 -0,01*X45 +0,024*X46 +0,051*X47 +0,016*X48 +0,031*X49 +0,026*X50 +0,019*X51 +0,035*X52 +0,005*X53 +0,006*X54 +0,035*X55 -0,01*X56 +0,036*X57 +0,02*X58≥0,076;

Kısıt 4: M_0=1

x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 2: Mart 2004 – Kasım 2007 Dönemi Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu:
$Max\ \alpha$

Kısıt 1: $\sum_{t=1}^{n} \frac{y_t}{T} + \alpha(Z^1 - Z^0) \leq Z^1$
(1/45)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25+y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45)+ 0,057*α ≤ 0,070;

Kısıt 2: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj}x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$
y1+0,061*X1 +0,011*X2 +0,006*X3 +0,088*X4 +0,04*X5 +0,214*X6 +0,082*X7 -0,004*X8 +0,064*X9 -0,003*X10 +0,2*X11 +0,106*X12 +0,032*X13 +0,284*X14 +0,04*X15 +0,003*X16 +0,059*X17 +0,119*X18 -0,078*X19+0,45*X20+0,157*X21+0,179*X22-0,055*X23 +0,301*X24 +0,037*X25 +0,044*X26 +0,063*X27-0,043*X28 +0,195*X29 +0,226*X30 +0,609*X31 +0,081*X32 +0,029*X33 +0,065*X34+0,06*X35 +0,07*X36 +0,134*X37 +0,049*X38 +0,007*X39 -0,059*X40 +0,011*X41 +0,42*X42 +0,12*X43 -0,023*X44 +0,075*X45 +0,075*X46 +0,033*X47 +0,047*X48 -0,042*X49 +0,084*X50 -0,026*X51-0,026*X52 +0,107*X53 +0,271*X54 +0,101*X55 +0,054*X56 +0,208*X57 -0,032*X58≥0;
……

y45+-0,086*X1-0,22*X2 -0,133*X3 -0,001*X4 +0,072*X5 -0,026*X6 -0,089*X7 -0,094*X8 -0,116*X9 +0,032*X10 -0,152*X11 -0,05*X12 -0,125*X13 -0,075*X14 +0,15*X15 -0,126*X16 -0,007*X17 -0,075*X18 +0,008*X19 -0,217*X20 -0,179*X21 -0,118*X22 -0,068*X23 -0,055*X24 -0,075*X25 -0,209*X26 -0,126*X27 -0,064*X28 -0,103*X29 -0,082*X30 -0,054*X31 -0,157*X32 -0,073*X33 -0,201*X34 -0,017*X35 +0,069*X36 +0,002*X37 -0,118*X38 -0,047*X39 -0,083*X40 -0,146*X41 -0,13*X42 -0,051*X43 -0,193*X44 -0,018*X45 -0,126*X46 -0,071*X47 -0,081*X48 -0,243*X49 -0,091*X50 -0,079*X51 -0,103*X52 -0,053*X53 -0,1*X54 -0,19*X55 -0,071*X56 -0,067*X57-0,085*X58≥0 ;

Kısıt 3: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj}x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$
y1-0,061*X1 +0,011*X2 +0,006*X3 +0,088*X4 +0,04*X5 +0,214*X6 +0,082*X7 -0,004*X8 +0,064*X9 -0,003*X10 +0,2*X11 +0,106*X12 +0,032*X13 +0,284*X14 +0,04*X15 +0,003*X16 +0,059*X17 +0,119*X18 -0,078*X19+0,45*X20+0,157*X21+0,179*X22-0,055*X23 +0,301*X24 +0,037*X25 +0,044*X26 +0,063*X27-0,043*X28 +0,195*X29 +0,226*X30 +0,609*X31 +0,081*X32 +0,029*X33 +0,065*X34 +0,06*X35 +0,07*X36 +0,134*X37 +0,049*X38 +0,007*X39 -0,059*X40 +0,011*X41 +0,42*X42 +0,12*X43 -0,023*X44 +0,075*X45 +0,075*X46 +0,033*X47 +0,047*X48 -0,042*X49 +0,084*X50 -0,026*X51 -0,026*X52 +0,107*X53 +0,271*X54 +0,101*X55 +0,054*X56 +0,208*X57 -0,032*X58≥0;
……

y45--0,086*X1-0,22*X2 -0,133*X3 -0,001*X4 +0,072*X5 -0,026*X6 -0,089*X7 -0,094*X8 -0,116*X9 +0,032*X10 -0,152*X11 -0,05*X12 -0,125*X13 -0,075*X14 +0,15*X15 -0,126*X16 -0,007*X17 -0,075*X18 +0,008*X19 -0,217*X20 -0,179*X21 -0,118*X22 -0,068*X23 -0,055*X24 -0,075*X25 -0,209*X26 -0,126*X27 -0,064*X28 -0,103*X29 -0,082*X30 -0,054*X31 -0,157*X32 -0,073*X33 -0,201*X34 -0,017*X35 +0,069*X36 +0,002*X37 -0,118*X38 -0,047*X39 -0,083*X40 -0,146*X41 -0,13*X42 -0,051*X43 -0,193*X44 -0,018*X45 -0,126*X46 -0,071*X47 -0,081*X48 -0,243*X49 -0,091*X50 -0,079*X51 -0,103*X52 -0,053*X53 -0,1*X54 -0,19*X55 -0,071*X56 -0,067*X57-0,085*X58≥0 ;

Kısıt 4: $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j - \alpha\tau \geq \rho M_0$
0,041*X1 +0,031*X2 +0,001*X3 +0,027*X4 +0,007*X5 +0,022*X6 +0,01*X7 +0,033*X8 +0,022*X9 +0,031*X10 +0,029*X11 +0,018*X12 +0,041*X13 +0,033*X14 +0,076*X15 +0,021*X16 +0,036*X17 +0,025*X18 +0,041*X19 +0,027*X20 +0,042*X21 +0,023*X22 +0,045*X23 +0,026*X24 +0,007*X25 +0,044*X26 +0,034*X27 +0,026*X28 +0,026*X29 +0,036*X30 +0,062*X31 +0,021*X32 +0,018*X33 +0,041*X34 +0,022*X35 +0,035*X36 +0,033*X37 +0,027*X38 -0,001*X39 +0,019*X40 +0,048*X41 +0,039*X42 +0,02*X43 +0,023*X44 -0,01*X45 +0,024*X46 +0,051*X47 +0,016*X48 +0,031*X49 +0,026*X50 +0,019*X51 +0,035*X52 +0,005*X53 +0,006*X54 +0,035*X55 -0,01*X56 +0,036*X57 +0,02*X58 -0,049*α ≥ 0,027

Kısıt 5: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 3: Haziran 2009 – Aralık 2016 Dönemi Üyelik Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç Fonksiyonu: $MinZ \sum_{t=1}^{T} \frac{y_t}{T}$

Min=(1/91)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25+y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45+y46+y47+y48+y49+y50+y51+y52+y53+y54+y55+y56+y57+y58+y59+y60+y61+y62+y63+y64+y65+y66+y67+y68+y69+y70+y71+y72+y73+y74+y75+y76+y77+y78+y79+y80+y81+y82+y83+y84+y85+y86+y87+y88+y89+y90+y91);

Kısıt 1: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$

y1+-0,073*X1 +0,06*X2 +0,124*X3 +0,039*X4 +0,097*X5 +0,105*X6 +0,031*X7 +0,015*X8 +0,167*X9 +0,072*X10 +0,012*X11 +0*X12 +0,116*X13 +0,004*X14 -0,043*X15 +0,238*X16 +0,108*X17 +0,181*X18 -0,046*X19 +0,084*X20 +0,019*X21 -0,028*X22 +0,076*X23 +0,238*X24 +0,058*X25 +0,106*X26 +0,032*X27 -0,054*X28 -0,062*X29 +0,13*X30 +0,026*X31 -0,022*X32 -0,116*X33 -0,061*X34 +0,087*X35 +0,012*X36 -0,073*X37 +0,002*X38 -0,078*X39 +0,304*X40 +0,039*X41 +0,051*X42 +0,139*X43 -0,078*X44 +0,11*X45 +0,026*X46 -0,041*X47 +0,134*X48 +0,161*X49 +0,036*X50 +0,089*X51 -0,044*X52 +0,288*X53 +0,042*X54 +0,08*X55 -0,004*X56 -0,044*X57 +0,148*X58 ≥ 0;

……

y91+-0,104*X1 +0,026*X2 -0,006*X3 +0,146*X4 +0,035*X5 +0,144*X6 +0,025*X7 +0,108*X8 +0,075*X9 +0,1*X10 +0,377*X11 -0,036*X12 +0,156*X13 -0,071*X14 +0,057*X15 +0,08*X16 +0,056*X17 +0,095*X18 +0,144*X19 +0,085*X20 +0,068*X21 +0,032*X22 +0,032*X23 +0,042*X24 +0,011*X25 +0,021*X26 +0,006*X27 +0,064*X28 +0,037*X29 -0,004*X30 +0,098*X31 +0,074*X32 +0,085*X33 +0,039*X34 +0,012*X35 +0,059*X36 +0,002*X37 -0,062*X38 -0,027*X39 +0,012*X40 +0,047*X41 +0,014*X42 -0,008*X43 +0,033*X44 +0,435*X45 +0,129*X46 +0,105*X47 +0,054*X48 +0,087*X49 +0,114*X50 -0,01*X51 +0,01*X52 +0,019*X53 -0,092*X54 -0,021*X55 +0,036*X56 +0,089*X57 +0,262*X58 ≥ 0 ;

Kısıt 2: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$

y1- -0,073*X1 +0,06*X2 +0,124*X3 +0,039*X4 +0,097*X5 +0,105*X6 +0,031*X7 +0,015*X8 +0,167*X9 +0,072*X10 +0,012*X11 +0*X12 +0,116*X13 +0,004*X14 -0,043*X15 +0,238*X16 +0,108*X17 +0,181*X18 -0,046*X19 +0,084*X20 +0,019*X21 -0,028*X22 +0,076*X23 +0,238*X24 +0,058*X25 +0,106*X26 +0,032*X27 -0,054*X28 -0,062*X29 +0,13*X30 +0,026*X31 -0,022*X32 -0,116*X33 -0,061*X34 +0,087*X35 +0,012*X36 -0,073*X37 +0,002*X38 -0,078*X39 +0,304*X40 +0,039*X41 +0,051*X42 +0,139*X43 -0,078*X44 +0,11*X45 +0,026*X46 -0,041*X47 +0,134*X48 +0,161*X49 +0,036*X50 +0,089*X51 -0,044*X52 +0,288*X53 +0,042*X54 +0,08*X55 -0,004*X56 -0,044*X57 +0,148*X58 ≥ 0;

……

y91- -0,104*X1 +0,026*X2 -0,006*X3 +0,146*X4 +0,035*X5 +0,144*X6 +0,025*X7 +0,108*X8 +0,075*X9 +0,1*X10 +0,377*X11 -0,036*X12 +0,156*X13 -0,071*X14 +0,057*X15 +0,08*X16 +0,056*X17 +0,095*X18 +0,144*X19 +0,085*X20 +0,068*X21 +0,032*X22 +0,032*X23 +0,042*X24 +0,011*X25 +0,021*X26 +0,006*X27 +0,064*X28 +0,037*X29 -0,004*X30 +0,098*X31 +0,074*X32 +0,085*X33 +0,039*X34 +0,012*X35 +0,059*X36 +0,002*X37 -0,062*X38 -0,027*X39 +0,012*X40 +0,047*X41 +0,014*X42 -0,008*X43 +0,033*X44 +0,435*X45 +0,129*X46 +0,105*X47 +0,054*X48 +0,087*X49 +0,114*X50 -0,01*X51 +0,01*X52 +0,019*X53 -0,092*X54 -0,021*X55 +0,036*X56 +0,089*X57 +0,262*X58 ≥ 0 ;

Kısıt 3: Z^0 için $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$

0,134*X1+0,01*X2+0,033*X3+0,024*X4+0,011*X5+0,014*X6+0,033*X7+0,043*X8+0,024*X9+0,013*X10+0,017*X11+0,039*X12+0,021*X13+0,02*X14+0,006*X15+0,006*X16+0,02*X17+0,048*X18+0,016*X19+0,029*X20+0,023*X21+0,028*X22+0,013*X23+0,017*X24+0,037*X25+0,017*X26+0,017*X27+0,011*X28+0,017*X29+0,019*X30+0,019*X31+0,022*X32+0,023*X33+0,029*X34+0,022*X35+0*X36+0,014*X37+0,012*X38+0,032*X39+0,036*X40+0,036*X41+0,011*X42+0,022*X43+0,012*X44+0,036*X45+0,025*X46+0,023*X47+0,017*X48+0,004*X49+0,035*X50+0,021*X51+0,023*X52+0,023*X53+0,029*X54+0,03*X55+0,024*X56+0,01*X57+0,021*X58 ≥ 0,024;

Kısıt 3: Z^1 için $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$

0,134*X1+0,01*X2+0,033*X3+0,024*X4+0,011*X5+0,014*X6+0,033*X7+0,043*X8+0,024*X9+0,013*X10+0,017*X11+0,039*X12+0,021*X13+0,02*X14+0,006*X15+0,006*X16+0,02*X17+0,048*X18+0,016*X19+0,029*X20+0,023*X21+0,028*X22+0,013*X23+0,017*X24+0,037*X25+0,017*X26+0,017*X27+0,011*X28+0,017*X29+0,019*X30+0,019*X31+0,022*X32+0,023*X33+0,029*X34+0,022*X35+0*X36+0,014*X37+0,012*X38+0,032*X39+0,036*X40+0,036*X41+0,011*X42+0,022*X43+0,012*X44+0,036*X45+0,025*X46+0,023*X47+0,017*X48+0,004*X49+0,035*X50+0,021*X51+0,023*X52+0,023*X53+0,029*X54+0,03*X55+0,024*X56+0,01*X57+0,021*X58 ≥ 0,134;

Kısıt 4: M_0=1

x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 4: Haziran 2009 – Aralık 2016 Dönemi Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu:
$Max\ \alpha$

Kısıt 1: $\sum_{t=1}^{n} \frac{y_t}{T} + \alpha(Z^1 - Z^0) \leq Z^1$
(1/91)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25+y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45+y46+y47+y48+y49+y50+y51+y52+y53+y54+y55+y56+y57+y58+y59+y60+y61+y62+y63+y64+y65+y66+y67+y68+y69+y70+y71+y72+y73+y74+y75+y76+y77+y78+y79+y80+y81+y82+y83+y84+y85+y86+y87+y88+y89+y90+y91)+ α*0,288 ≤ 0,307;

Kısıt 2: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1+-0,073*X1 +0,06*X2 +0,124*X3 +0,039*X4 +0,097*X5 +0,105*X6 +0,031*X7 +0,015*X8 +0,167*X9 +0,072*X10 +0,012*X11 +0*X12 +0,116*X13 +0,004*X14 -0,043*X15 +0,238*X16 +0,108*X17 +0,181*X18 -0,046*X19 +0,084*X20 +0,019*X21 -0,028*X22 +0,076*X23 +0,238*X24 +0,058*X25 +0,106*X26 +0,032*X27 -0,054*X28 -0,062*X29 +0,13*X30 +0,026*X31 -0,022*X32 -0,116*X33 -0,061*X34 +0,087*X35 +0,012*X36 -0,073*X37 +0,002*X38 -0,078*X39 +0,304*X40 +0,039*X41 +0,051*X42 +0,139*X43 -0,078*X44 +0,11*X45 +0,026*X46 -0,041*X47 +0,134*X48 +0,161*X49 +0,036*X50 +0,089*X51 -0,044*X52 +0,288*X53 +0,042*X54 +0,08*X55 -0,004*X56 -0,044*X57 +0,148*X58 ≥ 0;
……

y91+-0,104*X1 +0,026*X2 -0,006*X3 +0,146*X4 +0,035*X5 +0,144*X6 +0,025*X7 +0,108*X8 +0,075*X9 +0,1*X10 +0,377*X11 -0,036*X12 +0,156*X13 -0,071*X14 +0,057*X15 +0,08*X16 +0,056*X17 +0,095*X18 +0,144*X19 +0,085*X20 +0,068*X21 +0,032*X22 +0,032*X23 +0,042*X24 +0,011*X25 +0,021*X26 +0,006*X27 +0,064*X28 +0,037*X29 -0,004*X30 +0,098*X31 +0,074*X32 +0,085*X33 +0,039*X34 +0,012*X35 +0,059*X36 +0,002*X37 -0,062*X38 -0,027*X39 +0,012*X40 +0,047*X41 +0,014*X42 -0,008*X43 +0,033*X44 +0,435*X45 +0,129*X46 +0,105*X47 +0,054*X48 +0,087*X49 +0,114*X50 -0,01*X51 +0,01*X52 +0,019*X53 -0,092*X54 -0,021*X55 +0,036*X56 +0,089*X57 +0,262*X58 ≥ 0 ;

Kısıt 3: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1- -0,073*X1 +0,06*X2 +0,124*X3 +0,039*X4 +0,097*X5 +0,105*X6 +0,031*X7 +0,015*X8 +0,167*X9 +0,072*X10 +0,012*X11 +0*X12 +0,116*X13 +0,004*X14 -0,043*X15 +0,238*X16 +0,108*X17 +0,181*X18 -0,046*X19 +0,084*X20 +0,019*X21 -0,028*X22 +0,076*X23 +0,238*X24 +0,058*X25 +0,106*X26 +0,032*X27 -0,054*X28 -0,062*X29 +0,13*X30 +0,026*X31 -0,022*X32 -0,116*X33 -0,061*X34 +0,087*X35 +0,012*X36 -0,073*X37 +0,002*X38 -0,078*X39 +0,304*X40 +0,039*X41 +0,051*X42 +0,139*X43 -0,078*X44 +0,11*X45 +0,026*X46 -0,041*X47 +0,134*X48 +0,161*X49 +0,036*X50 +0,089*X51 -0,044*X52 +0,288*X53 +0,042*X54 +0,08*X55 -0,004*X56 -0,044*X57 +0,148*X58 ≥ 0;
……

y91- -0,104*X1 +0,026*X2 -0,006*X3 +0,146*X4 +0,035*X5 +0,144*X6 +0,025*X7 +0,108*X8 +0,075*X9 +0,1*X10 +0,377*X11 -0,036*X12 +0,156*X13 -0,071*X14 +0,057*X15 +0,08*X16 +0,056*X17 +0,095*X18 +0,144*X19 +0,085*X20 +0,068*X21 +0,032*X22 +0,032*X23 +0,042*X24 +0,011*X25 +0,021*X26 +0,006*X27 +0,064*X28 +0,037*X29 -0,004*X30 +0,098*X31 +0,074*X32 +0,085*X33 +0,039*X34 +0,012*X35 +0,059*X36 +0,002*X37 -0,062*X38 -0,027*X39 +0,012*X40 +0,047*X41 +0,014*X42 -0,008*X43 +0,033*X44 +0,435*X45 +0,129*X46 +0,105*X47 +0,054*X48 +0,087*X49 +0,114*X50 -0,01*X51 +0,01*X52 +0,019*X53 -0,092*X54 -0,021*X55 +0,036*X56 +0,089*X57 +0,262*X58 ≥ 0 ;

Kısıt 4: $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j - \alpha\tau \geq \rho M_0$
0,134*X1+0,01*X2+0,033*X3+0,024*X4+0,011*X5+0,014*X6+0,033*X7+0,043*X8+0,024*X9+0,013*X10+0,017*X11+0,039*X12+0,021*X13+0,02*X14+0,006*X15+0,006*X16+0,02*X17+0,048*X18+0,016*X19+0,029*X20+0,023*X21+0,028*X22+0,013*X23+0,017*X24+0,037*X25+0,017*X26+0,017*X27+0,011*X28+0,017*X29+0,019*X30+0,019*X31+0,022*X32+0,023*X33+0,029*X34+0,022*X35+0*X36+0,014*X37+0,012*X38+0,032*X39+0,036*X40+0,036*X41+0,011*X42+0,022*X43+0,012*X44+0,036*X45+0,025*X46+0,023*X47+0,017*X48+0,004*X49+0,035*X50+0,021*X51+0,023*X52+0,023*X53+0,029*X54+0,03*X55+0,024*X56+0,01*X57+0,021*X58-0,110*α ≥ 0,024;

Kısıt 5: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 5: Şubat 2000 – Şubat 2004 Dönemi Üyelik Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu: $MinZ \sum_{t=1}^{T} \frac{y_t}{T}$
MinZ=(1/49)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25+y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45+y46+y47+y48+y49)

Kısıt 1: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1+-0,071*X1-0,223*X2-0,192*X3-0,21*X4 -0,176*X5-0,254*X6 -0,108*X7+0,005*X8- 0,081*X9-0,26*X10 -0,255*X11 -0,002*X12 +0,054*X13 -0,489*X14 -0,382*X15 +0,018*X16-0,029*X17-0,156*X18 -0,012*X19 -0,03*X20 +0,027*X21 -0,059*X22 -0,131*X23 +0,006*X24-0,125*X25 +0,116*X26 -0,286*X27 +0,035*X28 -0,127*X29 -0,207*X30 -0,197*X31-0,216*X32-0,086*X33-0,039*X34 -0,048*X35 -0,065*X36 -0,212*X37 -0,245*X38 +0,114*X39 -0,113*X40 -0,169*X41-0,408*X42 -0,069*X43 -0,127*X44 +0,009*X45 -0,189*X46 -0,213*X47 -0,267*X48 -0,197*X49-0,119*X50 -0,052*X51 -0,221*X52 -0,207*X53 -0,245*X54 -0,279*X55 +0,097*X56 +0,045*X57-0,249*X58≥0 ;
……

y49+0,11*X1+ 0,036*X2 +0,007*X3 -0,003*X4 -0,007*X5 +0,113*X6 +0,12*X7 -0,077*X8 +0,002*X9 -0,03*X10 +0,052*X11 +0,004*X12 +0,001*X13 +0,112*X14 +0,139*X15 +0,2*X16 +0,046*X17 +0,047*X18+ 0,018*X19 +0,28*X20 +0,059*X21 -0,041*X22 +0,129*X23 +0,008*X24 -0,023*X25 +0,059*X26 -0,051*X27 +0,142*X28 -0,075*X29 -0,029*X30 +0,236*X31 -0,048*X32 -0,022*X33 -0,019*X34 +0,012*X35 -0,024*X36 -0,019*X37 +0,316*X38 +0,055*X39 +0,053*X40 +0,344*X41 -0,02*X42 -0,117*X43 +0,053*X44 +0,033*X45 +0,183*X46 +0,059*X47 -0,005*X48 -0,001*X49 +0,115*X50 +0,104*X51 -0,093*X52+0,081*X53+1,185*X54+-0,047*X55 +0,005*X56 +0,054*X57 +0,011*X58≥0 ;

Kısıt 2: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1--0,071*X1-0,223*X2-0,192*X3-0,21*X4 -0,176*X5-0,254*X6 -0,108*X7+0,005*X8- 0,081*X9-0,26*X10 -0,255*X11 -0,002*X12 +0,054*X13 -0,489*X14 -0,382*X15 +0,018*X16-0,029*X17-0,156*X18 -0,012*X19 -0,03*X20 +0,027*X21 -0,059*X22 -0,131*X23 +0,006*X24-0,125*X25 +0,116*X26 -0,286*X27 +0,035*X28 -0,127*X29 -0,207*X30 -0,197*X31-0,216*X32-0,086*X33-0,039*X34 -0,048*X35 -0,065*X36 -0,212*X37 -0,245*X38 +0,114*X39 -0,113*X40 -0,169*X41-0,408*X42 -0,069*X43 -0,127*X44 +0,009*X45 -0,189*X46 -0,213*X47 -0,267*X48 -0,197*X49-0,119*X50 -0,052*X51 -0,221*X52 -0,207*X53 -0,245*X54 -0,279*X55 +0,097*X56 +0,045*X57-0,249*X58≥0 ;
......
y49-0,11*X1+0,036*X2+0,007*X3-0,003*X4-0,007*X5+0,113*X6+0,12*X7-0,077*X8 +0,002*X9-0,03*X10+0,052*X11+0,004*X12+0,001*X13+0,112*X14+0,139*X15+0,2*X16+0,046*X17+0,047*X18+ 0,018*X19 +0,28*X20 +0,059*X21 -0,041*X22 +0,129*X23 +0,008*X24 -0,023*X25 +0,059*X26 -0,051*X27+0,142*X28+-0,075*X29+-0,029*X30+0,236*X31+-0,048*X32+-0,022*X33 -0,019*X34+0,012*X35-0,024*X36- 0,019*X37 +0,316*X38 +0,055*X39+0,053*X40+0,344*X41-0,02*X42 -0,117*X43 +0,053*X44 +0,033*X45 +0,183*X46 +0,059*X47 -0,005*X48 -0,001*X49 +0,115*X50 +0,104*X51 -0,093*X52+0,081*X53+1,185*X54+-0,047*X55 +0,005*X56 +0,054*X57 +0,011*X58≥0 ;

Kısıt 3: (Z^0 için) $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$
0,02*X1+0,033*X2+0,023*X3+0,019*X4+0,021*X5 +0,034*X6 +0,04*X7 +0,032*X8 +0,013*X9 +0,016*X10+0,009*X11+0,03*X12+0,04*X13+0,021*X14+0,028*X15+0,028*X16+0,029*X17+0,021*X18 +0,029*X19+0,017*X20+0,026*X21+0,041*X22+0,036*X23+0,012*X24 +0,016*X25-0,005*X26 + 0,025*X27 +0,023*X28 +0,002*X29 +0,016*X30 +0,028*X31 +0,026*X32 + 0,022*X33 + 0,025*X34 +0,014*X35 +0,011*X36 +0,005*X37 +0,025*X38 +0,011*X39 +0,018*X40 +0,016*X41+ 0,102*X42-0,006*X43+0,025*X44 +0,015*X45 +0,02*X46 +0,022*X47 +0,021*X48 +0,03*X49 +0,042*X50 +0,03*X51 +0,01*X52 +0,007*X53 +0,07*X54 +0,01*X55 +0,022*X56 +0,018*X57+0,021*X58>=0,023;

Kısıt 3: (Z^1 için) $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$
0,02*X1+0,033*X2+0,023*X3+0,019*X4+0,021*X5+0,034*X6+0,04*X7+0,032*X8+0,013*X9+0,016*X10+0,009*X11+0,03*X12+0,04*X13+0,021*X14+0,028*X15+0,028*X16+0,029*X17+0,021*X18 +0,029*X19+0,017*X20+0,026*X21+0,041*X22+0,036*X23+0,012*X24 +0,016*X25-0,005*X26 + 0,025*X27 +0,023*X28 +0,002*X29 +0,016*X30 +0,028*X31 +0,026*X32 + 0,022*X33 + 0,025*X34 +0,014*X35 +0,011*X36 +0,005*X37 +0,025*X38 +0,011*X39 +0,018*X40 +0,016*X41+ 0,102*X42-0,006*X43+0,025*X44 +0,015*X45 +0,02*X46 +0,022*X47 +0,021*X48 +0,03*X49 +0,042*X50 +0,03*X51 +0,01*X52 +0,007*X53 +0,07*X54 +0,01*X55 +0,022*X56 +0,018*X57+0,021*X58>=0,102;

Kısıt 4: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 6: Şubat 2000 – Şubat 2004 Dönemi Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu:
$Max\ \alpha$

Kısıt 1: $\sum_{t=1}^{n}\frac{y_t}{T}+\alpha(Z^1-Z^0)\le Z^1$
(1/49)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18+y19+y20+y21+y22+y23+y24+y25+y26+y27+y28+y29+y30+y31+y32+y33+y34+y35+y36+y37+y38+y39+y40+y41+y42+y43+y44+y45+y46+y47+y48+y49)+α*0.1185≤0.1433;

Kısıt 2: $y_t+\sum_{j=1}^{n}a_{tj}x_j\ge 0 \qquad t=1,2,\dots,T$
y1+-0,071*X1-0,223*X2-0,192*X3-0,21*X4 -0,176*X5-0,254*X6 -0,108*X7+0,005*X8- 0,081*X9-0,26*X10 -0,255*X11 -0,002*X12 +0,054*X13 -0,489*X14 -0,382*X15 +0,018*X16-0,029*X17-0,156*X18 -0,012*X19 -0,03*X20 +0,027*X21 -0,059*X22 -0,131*X23 +0,006*X24-0,125*X25 +0,116*X26 -0,286*X27 +0,035*X28 -0,127*X29 -0,207*X30 -0,197*X31-0,216*X32-0,086*X33-0,039*X34 -0,048*X35 -0,065*X36 -0,212*X37 -0,245*X38 +0,114*X39 -0,113*X40 -0,169*X41-0,408*X42 -0,069*X43 -0,127*X44 +0,009*X45 -0,189*X46 -0,213*X47 -0,267*X48 -0,197*X49-0,119*X50 -0,052*X51 -0,221*X52 -0,207*X53 -0,245*X54 -0,279*X55 +0,097*X56 +0,045*X57-0,249*X58≥0 ;
……
y49+0,11*X1+0,036*X2+0,007*X3-0,003*X4-0,007*X5+0,113*X6+0,12*X7-0,077*X8 +0,002*X9-0,03*X10+0,052*X11+0,004*X12+0,001*X13+0,112*X14+0,139*X15+0,2*X16+0,046*X17+0,047*X18+ 0,018*X19 +0,28*X20 +0,059*X21 -0,041*X22 +0,129*X23 +0,008*X24 -0,023*X25 +0,059*X26 -0,051*X27+0,142*X28+-0,075*X29+-0,029*X30+0,236*X31+-0,048*X32+-0,022*X33 -0,019*X34+0,012*X35-0,024*X36- 0,019*X37 +0,316*X38 +0,055*X39+0,053*X40+0,344*X41-0,02*X42 -0,117*X43 +0,053*X44 +0,033*X45 +0,183*X46 +0,059*X47 -0,005*X48 -0,001*X49 +0,115*X50 +0,104*X51 -0,093*X52+0,081*X53+1,185*X54+-0,047*X55 +0,005*X56 +0,054*X57 +0,011*X58≥0 ;

Kısıt 3: $y_t-\sum_{j=1}^{n}a_{tj}x_j\ge 0 \qquad t=1,2,\dots,T$
y1--0,071*X1-0,223*X2-0,192*X3-0,21*X4 -0,176*X5-0,254*X6 -0,108*X7+0,005*X8- 0,081*X9-0,26*X10 -0,255*X11 -0,002*X12 +0,054*X13 -0,489*X14 -0,382*X15 +0,018*X16-0,029*X17-0,156*X18 -0,012*X19 -0,03*X20 +0,027*X21 -0,059*X22 -0,131*X23 +0,006*X24-0,125*X25 +0,116*X26 -0,286*X27 +0,035*X28 -0,127*X29 -0,207*X30 -0,197*X31-0,216*X32-0,086*X33-0,039*X34 -0,048*X35 -0,065*X36 -0,212*X37 -0,245*X38 +0,114*X39 -0,113*X40 -0,169*X41-0,408*X42 -0,069*X43 -0,127*X44 +0,009*X45 -0,189*X46 -0,213*X47 -0,267*X48 -0,197*X49-0,119*X50 -0,052*X51 -0,221*X52 -0,207*X53 -0,245*X54 -0,279*X55 +0,097*X56 +0,045*X57-0,249*X58≥0 ;
……
y49-0,11*X1+0,036*X2+0,007*X3-0,003*X4-0,007*X5+0,113*X6+0,12*X7-0,077*X8 +0,002*X9-0,03*X10+0,052*X11+0,004*X12+0,001*X13+0,112*X14+0,139*X15+0,2*X16+0,046*X17+0,047*X18+ 0,018*X19 +0,28*X20 +0,059*X21 -0,041*X22 +0,129*X23 +0,008*X24 -0,023*X25 +0,059*X26 -0,051*X27+0,142*X28+-0,075*X29+-0,029*X30+0,236*X31+-0,048*X32+-0,022*X33 -0,019*X34+0,012*X35-0,024*X36- 0,019*X37 +0,316*X38 +0,055*X39+0,053*X40+0,344*X41-0,02*X42 -0,117*X43 +0,053*X44 +0,033*X45 +0,183*X46 +0,059*X47 -0,005*X48 -0,001*X49 +0,115*X50 +0,104*X51 -0,093*X52+0,081*X53+1,185*X54+-0,047*X55 +0,005*X56 +0,054*X57 +0,011*X58≥0 ;

Kısıt 4: $\sum_{j=1}^{n}r_jx_j-\alpha\tau\ \ge\ \rho M_0$
0,02*X1 +0,033*X2 +0,023*X3 +0,019*X4 +0,021*X5 +0,034*X6 +0,04*X7 +0,032*X8 +0,013*X9 +0,016*X10 +0,009*X11 +0,03*X12 +0,04*X13 +0,021*X14 +0,028*X15 +0,028*X16 +0,029*X17 +0,021*X18 +0,029*X19+0,017*X20+0,026*X21+0,041*X22+0,036*X23+0,012*X24 +0,016*X25-0,005*X26 + 0,025*X27 +0,023*X28 +0,002*X29 +0,016*X30 +0,028*X31 +0,026*X32 + 0,022*X33 + 0,025*X34 +0,014*X35 +0,011*X36 +0,005*X37 +0,025*X38 +0,011*X39 +0,018*X40 +0,016*X41+ 0,102*X42-0,006*X43+0,025*X44 +0,015*X45 +0,02*X46 +0,022*X47 +0,021*X48 +0,03*X49 +0,042*X50 +0,03*X51 +0,01*X52 +0,007*X53 +0,07*X54 +0,01*X55 +0,022*X56 +0,018*X57+0,021*X58-α ∗0,079>=0,023;

Kısıt 5: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 7: Aralık 2007 – Mayıs 2009 Dönemi Üyelik Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç Fonksiyonu: $MinZ \sum_{t=1}^{T} \frac{y_t}{T}$
Min=(1/18)*(y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18);

Kısıt 1: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1+ 0,187*X1 +0,005*X2 -0,01*X3 -0,104*X4 +0,023*X5 +0,142*X6 +0,027*X7 -0,006*X8 +0,065*X9 +0,158*X10 -0,149*X11 +0,047*X12 -0,013*X13 +0,012*X14 +0,272*X15 -0,019*X16 -0,018*X17 -0,04*X18 +0,094*X19 +0,012*X20 +0,067*X21 -0,006*X22 +0,013*X23 +0,08*X24 -0,002*X25 -0,019*X26 +0,023*X27 -0,035*X28 -0,033*X29 +0,037*X30 +0,041*X31 +0,083*X32 +0,064*X33 -0,066*X34 -0,046*X35 -0,061*X36 +0,092*X37 -0,015*X38 -0,06*X39 -0,046*X40 +0,046*X41 -0,08*X42 -0,063*X43 -0,026*X44 +0,002*X45 +0,044*X46 +0,005*X47 +0,078*X48 +0,017*X49 +0,086*X50 +0,015*X51 +0,117*X52 +0,067*X53 +0,127*X54 -0,012*X55-0,074*X56 -0,051*X57 -0,055*X58 ≥ 0;
……
y18+ 0,007*X1 +0,033*X2 +0,111*X3 +0,118*X4 +0,208*X5 +0,125*X6 +0,126*X7 +0,076*X8 +0,285*X9 -0,049*X10 +0,002*X11 -0,047*X12 -0,045*X13 +0,121*X14 +0,419*X15 +0,418*X16 +0,128*X17 +0,27*X18 +0,122*X19 +0*X20 +0,109*X21 +0,139*X22 +0,151*X23 +0,341*X24 +0,154*X25 +0,232*X26 +0,074*X27 +0,151*X28 +0,024*X29 +0,26*X30 +0,168*X31 +0,059*X32 +0,211*X33 +0,052*X34 +0,174*X35 +0,016*X36 -0,035*X37 +0,141*X38 +0,702*X39 +0,203*X40 +0,076*X41 +0,333*X42 +0,229*X43 +0,158*X44 +0,187*X45 +0,066*X46 +0,188*X47 +0,347*X48 +0,138*X49 +0,315*X50 +0,109*X51 +0,203*X52 +0,181*X53 +0,035*X54 +0,131*X55 +0,05*X56 +0,106*X57 +0,894*X58 ≥ 0;

Kısıt 2: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T$
y1- 0,187*X1 +0,005*X2 -0,01*X3 -0,104*X4 +0,023*X5 +0,142*X6 +0,027*X7 -0,006*X8 +0,065*X9 +0,158*X10 -0,149*X11 +0,047*X12 -0,013*X13 +0,012*X14 +0,272*X15 -0,019*X16 -0,018*X17 -0,04*X18 +0,094*X19 +0,012*X20 +0,067*X21 -0,006*X22 +0,013*X23 +0,08*X24 -0,002*X25 -0,019*X26 +0,023*X27 -0,035*X28 -0,033*X29 +0,037*X30 +0,041*X31 +0,083*X32 +0,064*X33 -0,066*X34 -0,046*X35 -0,061*X36 +0,092*X37 -0,015*X38 -0,06*X39 -0,046*X40 +0,046*X41 -0,08*X42 -0,063*X43 -0,026*X44 +0,002*X45 +0,044*X46 +0,005*X47 +0,078*X48 +0,017*X49 +0,086*X50 +0,015*X51 +0,117*X52 +0,067*X53 +0,127*X54 -0,012*X55-0,074*X56 -0,051*X57 -0,055*X58 ≥ 0;
……
y18- 0,007*X1 +0,033*X2 +0,111*X3 +0,118*X4 +0,208*X5 +0,125*X6 +0,126*X7 +0,076*X8 +0,285*X9 -0,049*X10 +0,002*X11 -0,047*X12 -0,045*X13 +0,121*X14 +0,419*X15 +0,418*X16 +0,128*X17 +0,27*X18 +0,122*X19 +0*X20 +0,109*X21 +0,139*X22 +0,151*X23 +0,341*X24 +0,154*X25 +0,232*X26 +0,074*X27 +0,151*X28 +0,024*X29 +0,26*X30 +0,168*X31 +0,059*X32 +0,211*X33 +0,052*X34 +0,174*X35 +0,016*X36 -0,035*X37 +0,141*X38 +0,702*X39 +0,203*X40 +0,076*X41 +0,333*X42 +0,229*X43 +0,158*X44 +0,187*X45 +0,066*X46 +0,188*X47 +0,347*X48 +0,138*X49 +0,315*X50 +0,109*X51 +0,203*X52 +0,181*X53 +0,035*X54 +0,131*X55 +0,05*X56 +0,106*X57 +0,894*X58 ≥ 0;

Kısıt 3: $\mathbb{Z}^0$için $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$
-0,005*X1 +0,007*X2 -0,004*X3 -0,021*X4 -0,009*X5 -0,016*X6 -0,033*X7 -0,013*X8 -0,002*X9 +0,035*X10 +0,013*X11 -0,02*X12 +0,028*X13 -0,012*X14 -0,015*X15 -0,012*X16 -0,001*X17 +0,01*X18 -0,021*X19 -0,017*X20 -0,011*X21 -0,018*X22 -0,008*X23 -0,033*X24 -0,018*X25 -0,019*X26 +0,098*X27 -0,004*X28 -0,006*X29 +0,011*X30 -0,011*X31 +0,016*X32 -0,006*X33 +0,002*X34 -0,03*X35 +0,033*X36 +0,004*X37 -0,018*X38 +0,018*X39 -0,01*X40 -0,005*X41 +0,035*X42 -0,017*X43 +0,003*X44 -0,016*X45 -0,018*X46 -0,005*X47 -0,002*X48 -0,026*X49 -0,016*X50 -0,029*X51 -0,003*X52 +0,022*X53 -0,018*X54 -0,016*X55 -0,008*X56 -0,013*X57 +0,05*X58 ≥ -0,003;

Kısıt 3: $\mathbb{Z}^1$ için $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho M_0 + \alpha\tau$
-0,005*X1 +0,007*X2 -0,004*X3 -0,021*X4 -0,009*X5 -0,016*X6 -0,033*X7 -0,013*X8 -0,002*X9 +0,035*X10 +0,013*X11 -0,02*X12 +0,028*X13 -0,012*X14 -0,015*X15 -0,012*X16 -0,001*X17 +0,01*X18 -0,021*X19 -0,017*X20 -0,011*X21 -0,018*X22 -0,008*X23 -0,033*X24 -0,018*X25 -0,019*X26 +0,098*X27 -0,004*X28 -0,006*X29 +0,011*X30 -0,011*X31 +0,016*X32 -0,006*X33 +0,002*X34 -0,03*X35 +0,033*X36 +0,004*X37 -0,018*X38 +0,018*X39 -0,01*X40 -0,005*X41 +0,035*X42 -0,017*X43 +0,003*X44 -0,016*X45 -0,018*X46 -0,005*X47 -0,002*X48 -0,026*X49 -0,016*X50 -0,029*X51 -0,003*X52 +0,022*X53 -0,018*X54 -0,016*X55 -0,008*X56 -0,013*X57 +0,05*X58 ≥ 0,098

Kısıt 4: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

EK 8: Aralık 2007 – Mayıs 2009 Dönemi Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

Amaç fonksiyonu:
$Max\ \alpha$

Kısıt 1: $\sum_{t=1}^{n} \frac{y_t}{T} + \alpha(Z^1 - Z^0) \leq Z^1$
(1/18)* (y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10+y11+y12+y13+y14+y15+y16+y17+y18) + α*0,068 ≤ 0,098;

Kısıt 2: $y_t + \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$
y1+ 0,187*X1 +0,005*X2 -0,01*X3 -0,104*X4 +0,023*X5 +0,142*X6 +0,027*X7 -0,006*X8 +0,065*X9 +0,158*X10 -0,149*X11 +0,047*X12 -0,013*X13 +0,012*X14 +0,272*X15 -0,019*X16 -0,018*X17 -0,04*X18 +0,094*X19 +0,012*X20 +0,067*X21 -0,006*X22 +0,013*X23 +0,08*X24 -0,002*X25 -0,019*X26 +0,023*X27 -0,035*X28 -0,033*X29 +0,037*X30 +0,041*X31 +0,083*X32 +0,064*X33 -0,066*X34 -0,046*X35 -0,061*X36 +0,092*X37 -0,015*X38 -0,06*X39 -0,046*X40 +0,046*X41 -0,08*X42 -0,063*X43 -0,026*X44 +0,002*X45 +0,044*X46 +0,005*X47 +0,078*X48 +0,017*X49 +0,086*X50 +0,015*X51 +0,117*X52 +0,067*X53 +0,127*X54 -0,012*X55-0,074*X56 -0,051*X57 -0,055*X58 ≥ 0;
……
y18+ 0,007*X1 +0,033*X2 +0,111*X3 +0,118*X4 +0,208*X5 +0,125*X6 +0,126*X7 +0,076*X8 +0,285*X9 -0,049*X10 +0,002*X11 -0,047*X12 -0,045*X13 +0,121*X14 +0,419*X15 +0,418*X16 +0,128*X17 +0,27*X18 +0,122*X19 +0*X20 +0,109*X21 +0,139*X22 +0,151*X23 +0,341*X24 +0,154*X25 +0,232*X26 +0,074*X27 +0,151*X28 +0,024*X29 +0,26*X30 +0,168*X31 +0,059*X32 +0,211*X33 +0,052*X34 +0,174*X35 +0,016*X36 -0,035*X37 +0,141*X38 +0,702*X39 +0,203*X40 +0,076*X41 +0,333*X42 +0,229*X43 +0,158*X44 +0,187*X45 +0,066*X46 +0,188*X47 +0,347*X48 +0,138*X49 +0,315*X50 +0,109*X51 +0,203*X52 +0,181*X53 +0,035*X54 +0,131*X55 +0,05*X56 +0,106*X57 +0,894*X58 ≥ 0;

Kısıt 3: $y_t - \sum_{j=1}^{n} a_{tj} x_j \geq 0 \qquad t = 1,2,\dots,T$
y1- 0,187*X1 +0,005*X2 -0,01*X3 -0,104*X4 +0,023*X5 +0,142*X6 +0,027*X7 -0,006*X8 +0,065*X9 +0,158*X10 -0,149*X11 +0,047*X12 -0,013*X13 +0,012*X14 +0,272*X15 -0,019*X16 -0,018*X17 -0,04*X18 +0,094*X19 +0,012*X20 +0,067*X21 -0,006*X22 +0,013*X23 +0,08*X24 -0,002*X25 -0,019*X26 +0,023*X27 -0,035*X28 -0,033*X29 +0,037*X30 +0,041*X31 +0,083*X32 +0,064*X33 -0,066*X34 -0,046*X35 -0,061*X36 +0,092*X37 -0,015*X38 -0,06*X39 -0,046*X40 +0,046*X41 -0,08*X42 -0,063*X43 -0,026*X44 +0,002*X45 +0,044*X46 +0,005*X47 +0,078*X48 +0,017*X49 +0,086*X50 +0,015*X51 +0,117*X52 +0,067*X53 +0,127*X54 -0,012*X55-0,074*X56 -0,051*X57 -0,055*X58 ≥ 0;
……
y18- 0,007*X1 +0,033*X2 +0,111*X3 +0,118*X4 +0,208*X5 +0,125*X6 +0,126*X7 +0,076*X8 +0,285*X9 -0,049*X10 +0,002*X11 -0,047*X12 -0,045*X13 +0,121*X14 +0,419*X15 +0,418*X16 +0,128*X17 +0,27*X18 +0,122*X19 +0*X20 +0,109*X21 +0,139*X22 +0,151*X23 +0,341*X24 +0,154*X25 +0,232*X26 +0,074*X27 +0,151*X28 +0,024*X29 +0,26*X30 +0,168*X31 +0,059*X32 +0,211*X33 +0,052*X34 +0,174*X35 +0,016*X36 -0,035*X37 +0,141*X38 +0,702*X39 +0,203*X40 +0,076*X41 +0,333*X42 +0,229*X43 +0,158*X44 +0,187*X45 +0,066*X46 +0,188*X47 +0,347*X48 +0,138*X49 +0,315*X50 +0,109*X51 +0,203*X52 +0,181*X53 +0,035*X54 +0,131*X55 +0,05*X56 +0,106*X57 +0,894*X58 ≥ 0;

Kısıt 4: $\sum_{j=1}^{n} r_j x_j - \alpha\tau \geq \rho M_0$
-0,005*X1 +0,007*X2 -0,004*X3 -0,021*X4 -0,009*X5 -0,016*X6 -0,033*X7 -0,013*X8 -0,002*X9 +0,035*X10 +0,013*X11 -0,02*X12 +0,028*X13 -0,012*X14 -0,015*X15 -0,012*X16 -0,001*X17 +0,01*X18 -0,021*X19 -0,017*X20 -0,011*X21 -0,018*X22 -0,008*X23 -0,033*X24 -0,018*X25 -0,019*X26 +0,098*X27 -0,004*X28 -0,006*X29 +0,011*X30 -0,011*X31 +0,016*X32 -0,006*X33 +0,002*X34 -0,03*X35 +0,033*X36 +0,004*X37 -0,018*X38 +0,018*X39 -0,01*X40 -0,005*X41 +0,035*X42 -0,017*X43 +0,003*X44 -0,016*X45 -0,018*X46 -0,005*X47 -0,002*X48 -0,026*X49 -0,016*X50 -0,029*X51 -0,003*X52 +0,022*X53 -0,018*X54 -0,016*X55 -0,008*X56 -0,013*X57 +0,05*X58 -α*0,101 ≥ -0,003

Kısıt 5: M_0=1
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21+x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35+x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42+x43+x44+x45+x46+x47+x48+x49+x50+x51+x52+x53+x54+x55+x56+x57x+x58=1;

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Adı Soyadı…………… : Saffet AKDAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi..: Şarkışla, 1978

Medeni Hali…………..: Evli

İletişim Bilgileri……...: ekonomisyen@yahoo.com

544 290 4601

EĞİTİM:

1994-1997 Lise…………… : Şarkışla Ticaret Meslek Lisesi

2000-2003 Lisans…………. : Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, İktisat

2008-2009 Yüksek Lisans…: Sakarya Üniversitesi, İşletme

İŞ DENEYİMİ:

2006-2008 **Kredi Sorumlusu……:** T.C. Ziraat Bankası, Çanakkale Ayvacık Şubesi

2008-Halen **Öğretim Görevlisi…..:** Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni MYO, Muhasebe ve Vergi Uygulamaları,

YABANCI DİL:

İngilizce : KPDS 55

YAYINLAR:

Makaleler:

1. Aktaş, M. ve Akdağ, S. (2013). "Türkiye'de Ekonomik Faktörlerin Hisse Senedi Fiyatları ile İlişkilerinin Araştırılması" International Journal Social Science Research. 2(2):50-67.
2. Saraç, T.B., İskenderoğlu, Ö. ve Akdağ, S. (2016). "Yerli ve Yabancı Yatırımcılara Ait Risk İştahlarının İncelenmesi: Türkiye Örneği" Sosyoekonomi. 24(30):29-44.

Kitaplar:

1. İskenderoğlu, Ö., Saygın, O. ve Akdağ, S. (2014). "Kurumsal Yönetim ve Sermaye Yapısı". Adana: Karahan Kitabevi.

VERDİĞİ DERSLER:

Finansal Yönetim, Mali Tablolar Analizi, Finansal Yatırım Araçları, İstatistik