

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**FİNANSAL BELİRSİZLİKLERİ DİKKATE ALAN GENİŞLETİLMİŞ
BULANIK PORTFÖY OPTİMİZASYON MODELLERİ**

HAZIRLAYAN

MEHVEŞ GÜLİZ KELCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA- 2025

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**FİNANSAL BELİRSİZLİKLERİ DİKKATE ALAN GENİŞLETİLMİŞ
BULANIK PORTFÖY OPTİMİZASYON MODELLERİ**

HAZIRLAYAN

MEHVEŞ GÜLİZ KELCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ TUSAN DERYA

TEZ EŞ DANIŞMANI

PROF. DR. KUMRU DİDEM ATALAY

ANKARA - 2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde MEHVEŞ GÜLİZ KELCE tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 13 / 01 / 2025

Tez Adı: Finansal Belirsizlikleri Dikkate Alan Genişletilmiş Bulanık Portföy Optimizasyon Modelleri

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Ergun ERASLAN (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)

.....

Prof. Dr. İrem UÇAL SARI (Başkent Üniversitesi)

.....

Dr. Öğr. Üyesi Tusan DERYA (Başkent Üniversitesi)

.....

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY (Eş Danışmanı, Başkent Üniversitesi)

.....

ONAY

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Tarih : ... / 01 / 2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 20 / 01 / 2025

Öğrencinin Adı, Soyadı : Mehveş Güliz Kelce

Öğrencinin Numarası : 21520174

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı : Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Tusan Derya

Tez Başlığı : Finansal Belirsizlikleri Dikkate Alan Genişletilmiş Bulanık Portföy Optimizasyon Modelleri

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 76 sayfalık kısmına ilişkin, 20 / 01 / 2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %12'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: 20 / 01 / 2025

Öğrenci Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Tusan Derya, İmza:

.....

Bu tezi, hayatım boyunca her an yanımda olan, sevgisi ve fedakarlıklarıyla bana güç veren, hayallerime giden yolda beni her zaman destekleyen canım annem FİLİZ TOSUN' a ve küçük kahramanım, biricik oğlum Hasan Çınar KELCE' ye ithaf ediyorum...

Mehveş Güliz KELCE

Ankara - 2025

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve akademik yolculuğum boyunca bana yol gösteren, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarıma ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İlk yüksek lisans tez danışmanım olan Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY, akademik hayatımda benim için en büyük şans ve en değerli yol göstericim olmuştur. Bu süreçte karşılaştığım zorluklar nedeniyle eğitimime ara vermek durumunda kaldığım bir dönemde, bana duyduğu inanç ve verdiği destek sayesinde bu yola geri döndüm. Bu süreçteki cesaretlendirmeleri, rehberliği ve her zaman hissettirdiği güven ile akademik çalışmalarım da daima yolumu aydınlatmıştır. Kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimdeki yönlendirmeleri ve katkıları ile bana her zaman destek olan değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tusan DERYA' ya teşekkürlerimi sunarım. Bilgisi ve yol göstericiliği sayesinde bu tezin tamamlanmasında çok büyük katkısı olmuştur.

Bu süreçte yanımda olan ve bana her zaman destek veren sevgili eşim Yusuf KELCE' ye teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışması boyunca gösterdiği sabır, anlayış, verdiği moral desteği ve sonsuz inancı benim için çok kıymetlidir.

Hayatım boyunca bana her koşulda destek olan, sevgisi ve fedakarlıklarıyla bugünlere gelmemi sağlayan annem Filiz TOSUN'a sonsuz minnettarım. Varlığı, sevgisi ve desteği benim için her zaman en büyük motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu tez çalışması, yalnızca akademik bir başarı değil, aynı zamanda bu süreçte bana inanan ve destek olan kıymetli insanların katkılarının bir sonucudur. Hepsine gönülden teşekkür ederim.

ÖZET

Mehveş Güliz KELCE

FİNANSAL BELİRSİZLİKLERİ DİKKATE ALAN GENİŞLETİLMİŞ BULANIK PORTFÖY OPTİMİZASYON MODELLERİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2025

Yatırımcıların finansal piyasalardaki en büyük hedefi, risk ve getiri arasında dengeli bir portföy oluşturabilmektir. Ancak, ekonomik belirsizlikler ve piyasa dalgalanmaları, bu hedefe ulaşmayı zorlaştırmakta ve daha karmaşık stratejik yaklaşımlar gerektirmektedir. Bu nedenle, belirsizliklerin yönetilmesine yönelik yenilikçi portföy optimizasyon modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, belirsiz finansal verilerin daha etkili yönetimi için bulanık ve kararsız bulanık yaklaşımlara dayalı üç yeni model geliştirilmiştir. Konno-Yamazaki modeline dayanan bu yenilikçi modeller, Borsa İstanbul 50 (BIST 50) endeksindeki hisse senetlerinin kapanış değerleri analiz edilerek farklı risk profillerine sahip yatırımcılar için alternatif portföy seçenekleri sunmayı amaçlamaktadır. Özellikle, ortalama mutlak sapmayı risk ölçütü olarak kullanan bu modeller, yatırımcıların belirli risk seviyelerinde maksimum getiriyi veya belirli getiri seviyelerinde minimum riski hedefleyerek daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, çalışmada geliştirilen portföy modelleri, yatırımcıların belirsizlikler karşısındaki stratejik yaklaşımlarını destekleyerek, risk yönetimi süreçlerini daha esnek ve güvenilir hale getirmektedir. Bu modellerin sunduğu alternatif portföy seçenekleri, finansal karar süreçlerinde daha rasyonel ve etkili çözümler sunmayı hedeflemektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Portföy optimizasyonu, bulanık matematiksel programlama, kararsız bulanık teori, kararsız bulanık matematiksel programlama

ABSTRACT

Mehveş Güliz KELCE

EXTENDED FUZZY PORTFOLIO OPTIMIZATION MODELS CONSIDERING FINANCIAL UNCERTAINTIES

Başkent University Institute of Science

Department of Industrial Engineering

2025

The primary goal of investors in financial markets is to establish a balanced portfolio between risk and return. However, economic uncertainties and market fluctuations complicate this goal, necessitating more complex strategic approaches. Therefore, innovative portfolio optimization models that address the management of uncertainties have become essential. This study develops three new models based on fuzzy and hesitant fuzzy approaches to manage uncertain financial data more effectively. These innovative models, built upon the Konno-Yamazaki framework, analyze the closing values of stocks listed in the Borsa Istanbul 50 (BIST 50) index to offer alternative portfolio options for investors with different risk profiles. Specifically, these models utilize the mean absolute deviation as a risk measure, enabling investors to achieve the maximum expected return at a given risk level or minimize risk at a specified return level, thereby facilitating more informed decision-making.

In conclusion, the portfolio models developed in this study support investors' strategic approaches in the face of uncertainties, making risk management processes more flexible and reliable. The alternative portfolio options offered by these models aim to provide more rational and effective solutions in financial decision-making processes.

KEYWORDS: Portfolio optimization, fuzzy mathematical programming, hesitant fuzzy theory, hesitant fuzzy mathematical programming

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. PORTFÖY ANALİZİ.....	10
2.1. Portföy Yönetimi.....	10
2.1.1. Portföy Analizinde Kullanılan Temel Kavramlar.....	11
2.1.2. Risk Kavramı.....	12
2.1.3. Getiri Kavramı.....	19
2.1.4. Risk – Getiri İlişkisi ve Yatırımcı Türleri.....	20
2.2. Portföy Çeşitleri.....	22
2.3. Portföy Yönetimi ve Analiz Teknikleri.....	23
2.3.1. Temel Analiz ve Teknik Analiz.....	24
2.3.2. Geleneksel ve Modern Portföy Kuramları.....	26
2.4. Portföy Performansının Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Metrikler	34
3. BULANIK MANTIK.....	37
3.1. Bulanık Mantık Kavramı.....	37
3.2. Bulanık Küme Kavramı.....	39
3.2.1. Bulanık Kümeler.....	40
3.2.2. Bulanık Kümelerin Matematiksel Tanımları.....	42
3.3. Bulanık Mantık ve Portföy Analizi İlişkisi.....	45
3.3.1. Risk Ve Getiri Dengesine Bulanık Mantık Yaklaşımı.....	46
3.3.2. Bulanık Mantığın Portföy Optimizasyonundaki Rolü.....	47
3.4. Bulanık Doğrusal Programlama.....	47
3.4.1. Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri.....	50
3.5. Kararsız Bulanık Kümeler.....	50
4. PORTFÖY ANALİZİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YENİ BULANIK MODELLER	
.....	52

4.1. Geliştirilen Bulanık Portföy Matematiksel Modelleri.....	52
4.2. Geliştirilen Kararsız Bulanık Portföy Matematiksel Modelleri.....	53
5. UYGULAMA.....	57
6. SONUÇ.....	75
KAYNAKLAR.....	77



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1. KM, BM1 ve BM2 Çözümleri	60
Tablo 5.2. P1 Test problemlerinin KM, BM1 ve BM2 Çözümleri	64
Tablo 5.3. P2 Test problemlerinin KM, BM1 ve BM2 Çözümleri	65
Tablo 5.4. Yatırım yapılan hisse senedi sayıları	66
Tablo 5.5. Ortalama getiri oranlarının ortalamaları ve standart sapmaları	68
Tablo 5.6. Kararsız bulanık doğrusal programlama modeli sonuçları	70
Tablo 5.7. k değerlerine göre alfa, getiri ve risk ortalamaları.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Risk Bileşenleri	13
Şekil 2.2. Yatırımcı Türleri ve Risk – Getiri İlişkisi	21
Şekil 3.1. Üçgensel Bulanık Sayı	44
Şekil 3.2. Yamuksal Bulanık Sayı.....	45
Şekil 3.3. Bulanık Küme Teorisinin Gelişim Süreci.....	51
Şekil 5.1. Beklenen getiri oranına ait üyelik fonksiyonu	58
Şekil 5.2. k değerlerinin alfaya göre değişimi	73
Şekil 5.3. k değerlerinin getiri ve risk oranlarına göre değişimi	73

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_{jt}	j . hisse senedinin t . dönem ve ortalama getirisi arasındaki fark ($a_{jt} = r_{jt} - r_j$)
b_0	bulanık amaç fonksiyonu değeri
b_t	bulanık kaynak değerleri
BIST	Borsa İstanbul
BM1	bulanık model 1
BM2	bulanık model 2
C	bulanık kısıt
CAPM	Sermaye Varlıklarını Fiyatlama Modeli
D	bulanık karar
$E[R_j]$	Markowitz' in j . hisse senedinin beklenen getirisi tanımlaması
$E(R_p)$	Markowitz' in portföyün beklenen getirisi tanımlaması
G	bulanık hedef
HSS	hisse senedi sayıları
j	hisse senedi indisi $j = 1, 2, \dots, n$
KBM3	kararsız bulanık model
k_{jt}	j . hisse senedinin t . dönemdeki kapanış fiyatı
KM	geleneksel Konno Yamazaki modeli
M_0	toplam yatırım miktarı
n	hisse senedi sayısı
p_0	bulanık amacın tolerans değeri
p_t	bulanık kaynakların tolerans değeri
R_j	portföyde yer alan j . Hisse senedinin getiri oranını ifade eden rassal değişken
r_j	j . Hisse senedinin T dönemdeki ortalama getiri oranı
r_{jt}	j . hisse senedinin t . dönemde gerçekleşen getiri oranı
$r_{j(t+1)}$	j . Hisse senedinin $(t + 1)$. dönem sonundaki getiri oranı
$\bar{r}$	ortalama getiri oranlarının ortalaması
S	j . hisse senedinin T dönemdeki ortalama getiri oranlarının standart sapması
T	incelenen dönem sayısı
t	T dönem içindeki herhangi bir t . dönem $t = 1, 2, \dots, T$
u_j	j . Hisse senedine yapılan yatırım miktarının üst sınırı
x_j	j . Hisse senedine ait yatırım payı

y_t yardımcı değişken

$\mu_c(x)$ bulanık kısıtın üyelik fonksiyonu

$\mu_D(x)$ bulanık kararın üyelik fonksiyonu o. ü. X alternatifler uzayında tanımlanmış

$\mu_G(x) \in [0,1]$ bulanık hedefin üyelik fonksiyonu

μ_s farklı üyelik fonksiyonları ($s = 1, 2, \dots, l$)

ρ beklenen getiri oranı

ρM_0 beklenen getiri miktarı

σ_{ij} etkileşim halinde bulunan i . ve j . Hisse senetlerine ait kovaryansmatrisi

$\sigma(x_1, \dots, x_n)$ portföyün standart sapması (toplam risk)



1. GİRİŞ

Portföy optimizasyonu, yatırımcıların karşılaştığı en karmaşık ve kritik finansal zorluklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Sürekli değişen ekonomik koşullar, finansal belirsizlikler ve piyasa dinamikleri, yatırımcıların karar alma süreçlerini zorlaştırmakta ve stratejik yaklaşımlarını yeniden gözden geçirmelerini gerektirmektedir. Bu süreçte, risk ve getiri arasındaki dengeyi etkin bir şekilde yönetmek, yatırımcıların uzun vadeli başarıları için büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, portföy modelleri, risk ve getiri dengesini optimize ederek, yatırım kararlarının doğruluğunu artırmakta ve finansal başarıyı güvence altına almada kritik bir rol oynamaktadır.

Bu doğrultuda, finansal teoriler ve modeller, yatırımcıların belirsizliklerle dolu piyasa koşullarında daha bilinçli ve hesaplanmış kararlar almalarına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle, Modern Portföy Teorisi ve diğer finansal yaklaşımlar, yatırımcıların risk-getiri dengesini optimize ederek daha rasyonel ve stratejik portföy yönetimi sağlamalarına olanak tanımıştır. Yatırımcıların hedeflerine ulaşmak için riskleri minimize ederken getiri potansiyelini en üst düzeye çıkarabilmesi, bu teorilerin uygulanabilirliği ve etkinliği ile yakından ilişkilidir.

Modern Portföy Teorisi, yatırımcıların belirli bir risk seviyesinde en yüksek getiriyi elde etme veya belirli bir getiri seviyesinde en düşük riskle yatırım yapma arzuları doğrultusunda geliştirilmiştir. Modern Portföy Teorisi'nin temelleri, Harry Markowitz' in 1952 yılında yayımladığı "Portfolio Selection" adlı makalesiyle atılmıştır. Bu çalışma, yatırımcıların risk ve getiri dengesini nasıl optimize edebileceklerini matematiksel bir çerçevede açıklamaktadır. Finansal varlıklar arasında çeşitlendirme yaparak, en iyi portföy optimizasyonunu bulmayı hedeflemektedir. Risk ölçüsünü ortalama varyans yöntemiyle açıklamış ve yatırımcıların, finansal varlıkların getirileri arasındaki korelasyonları dikkate alarak portföyde çeşitlendirme yapabileceklerini belirtmiştir.

Markowitz' in bu teorisi, portföy optimizasyonunda beklenen getiri ve getirilerin varyansı arasındaki ilişkiye odaklanmış ve yatırımcıların sadece beklenen getiriyi değil, aynı zamanda getiri varyansını da dikkate almaları gerektiğini vurgulamıştır. Portföy seçimi sürecini iki aşamalı bir süreç olarak ele almış ve bu süreci, beklenen getirilerin en uygun seviyeye getirilmesi ve varyansın minimize edilmesi üzerinden açıklamıştır [1]. Markowitz' in bu çalışması, portföy teorisinin temel taşlarından biri olmuş ve risk-getiri dengesine odaklanan modern finans teorisine önemli katkılar sağlamıştır. Markowitz, 1959 yılında

varyans yerine yarı-varyans kavramını risk ölçüsü olarak önermiştir, bu da riskin yalnızca pozitif sapmalarla değil, negatif sapmalarla da dikkate alınması gerektiği anlamına gelmektedir [2].

Markowitz' in teorisine dayanan bu çalışmalar, birçok araştırmacı tarafından geliştirilmeye devam etmiştir. William Sharpe, 1964 yılında geliştirdiği Capital Asset Pricing Model (CAPM) ile portföy optimizasyonuna önemli katkılarda bulunmuş, yatırımcıların piyasaya duyarlılıklarını beta katsayısı aracılığıyla ölçmüştür. CAPM, piyasa hareketliliğine duyarlılığı ölçen beta değerinin, bir varlığın beklenen getirisinin belirlenmesindeki önemini vurgular. Bu model, teorik finans ve pratik yatırım kararları açısından temel bir yapı taşı haline gelmiştir [3]. Aynı dönemde, Lintner ve Mossin de benzer çalışmalarda bulunmuş ve finansal varlıkların risk-getiri ilişkisine yönelik çalışmaları yürütmüşlerdir.

Fisher Black ve Myron Scholes opsiyon değerlemesi konusunda matematiksel bir model geliştirmişler ve bu modelle opsiyonların zaman değerinin hesaplanması sağlanmışlardır. Black-Scholes modeli, finansal opsiyonların değerini belirlemek için riskten arındırılmış portföyler ve arbitraj fırsatlarının yokluğu prensiplerini kullanır. Bu model, hisse senedi opsiyonlarının değerinin zaman içerisinde nasıl değişeceğini tahmin edebilmek için matematiksel bir formül sağlar [4].

Robert C. Merton geleneksel CAPM' i genişleterek portföy seçimlerine zaman boyutunu dahil etmiştir. Bu, yatırımcıların kararlarının zamanla değişen yatırım fırsatlarından nasıl etkilendiğini yansıtmaktadır. Merton' ın modeli, varlık fiyatlamasına daha dinamik bir bakış açısı sunar ve yatırımcıların sadece tek bir dönem için değil, birden fazla zaman dilimi boyunca optimizasyon yaptığını, beklenen getirilerin ve risklerin nasıl sonuçlar alacağını dikkate alır [5].

Markowitz' in ortalama varyans yöntemi, portföy optimizasyonu uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Varyans fonksiyonuna bağlı olarak ortaya çıkan karesel programlama problemi, gelişmiş matematiksel programlama ile çözülebilir. Getiri oranının çok değişkenli normal dağılıma uyması, genellikle hisse senetleri için geçerli bir varsayım olarak kabul edilir ve 'beklenen faydanın maksimuma çıkarılması' ilkesiyle tutarlıdır. Ancak bu yöntemin büyük ölçekli portföyler için hesaplama zorlukları yarattığı görülmektedir [6]. Karesel programlama modelinin çözüm zorlukları araştırmacıları, Markowitz' in modelini hem hesaplamalı hem de teorik açıdan geliştirme çabalarına teşvik etmiştir.

Markowitz' in ortalama-varyans modelinin hesaplamalı zorluklarını aşmaya yönelik çalışmalar da literatürde geniş yer bulmuştur. Özellikle büyük veri setleri üzerinde

hesaplamaların daha hızlı ve verimli yapılabilmesi için, Konno ve Yamazaki (1991) tarafından geliştirilen Ortalama Mutlak Sapma (MAD) modeli önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu model, ortalama-varyans modeline kıyasla daha basit hesaplamalar sunarken, risk ölçümünde kovaryans matrisine dayanan zorlukları ortadan kaldırmıştır ve risk ölçümünde de benzer sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ancak, belirsizliklerin yönetiminde bu modelin de sınırlamaları bulunmaktadır. [7].

Konno ve Yamazaki' nin bu modeli, daha esnek ve hesaplanabilir bir yapı sunarken, Konno, Shirakawa ve Yamazaki tarafından ortalama ve varyansın yanı sıra üçüncü momenti de dikkate alan doğrusal programlama ile bir model geliştirilmiştir. Bu modelde, yatırımcıların riskten kaçınma eğilimleri ve portföy getirisinin dağılımının ortalama ve varyanslarının yanı sıra üçüncü momenti de dikkate alan doğrusal programlama ile bir model geliştirilmiştir [8]. Konno ve Wijayanayake (1999), bu modelin optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için dal ve sınır algoritması önermiştir. Bu yöntem, büyük ölçekli portföy problemlerinin çözümünde önemli zaman kazanımları sağlamıştır [9].

Bu kapsamda yapılan araştırmalar, Kardiyen tarafından Markowitz ve Konno-Yamazaki modelleri arasında bir karşılaştırma ile devam etmiştir. Bu çalışmada İMKB verilerine, Markowitz ve MAD Modelini ele alarak, simülasyon üzerinden karşılaştırmalı analizler sunmuştur [10]. Zhang ve Yu, çok dönemli portföy seçimi için ortalama-mutlak sapma yaklaşımını genişletmişlerdir [11].

Moon ve Yao, portföy optimizasyonunda parametre belirsizliklerini dikkate alan güçlü bir ortalama-mutlak sapma modeli geliştirmiş ve bu modelin finansal elastikiyet, standart sapma ve piyasa koşulları gibi faktörlere dayanan performansını empirik olarak incelemişlerdir [12]. Kasenbacher, Lee ve Euchukanonchai, Markowitz'in Ortalama-Varyans modeli ile Konno'nun Ortalama-Mutlak Sapma modelini Modern Portföy Teorisi çerçevesinde karşılaştırarak bu iki yaklaşımı analiz ederek her iki modelin avantajlarını ortaya koymuşlardır [13]. Liu ve Zhang, hedging portföy seçimi problemleri için Ortalama-Mutlak Sapma (OMS) modelini kullanmışlar ve hedging riskini ölçmek amacıyla hedging portföyünün getirilerinin mutlak sapmasını değerlendirmişlerdir [14]. Hwang, Kim ve Park, açık hesaplama ortamlarında kullanıcıların performanslarındaki değişkenlikler nedeniyle maruz kaldıkları riskleri ele almış ve bu belirsizlikleri kontrol etmek amacıyla ortalama-mutlak sapma portföy optimizasyon modelini önermişlerdir [15].

Sukono ve Carnia, OMS modelini ve kovaryans matrisini birleştirerek yatırım portföyünün riskini minimize eden çözümler geliştirmişlerdir [16]. Chaiyakan, gelecekteki getiri oranlarındaki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak aralık doğrusal programlama

yaklaşımını kullanan bir portföy modelini sunmuştur [17]. Büberkökü ise ABD'deki dokuz farklı sektörü temsil eden borsa yatırım fonlarını kullanarak Markowitz'in ortalama-varyans yöntemi ve üç alternatif portföy optimizasyon yönteminin performanslarını karşılaştırmıştır [18].

Sehgal ve Jagadeh, beklenen getirilerdeki belirsizlikleri dikkate alarak, yarı-ortalama-mutlak sapma risk ölçüsüne dayalı bir robust portföy optimizasyonu modeli önermişlerdir [19]. Hosseini-Nodeh, Khanjani-Shiraz ve Pardalos, Wasserstein metriğine dayanan ve tutarlı robust ortalama-mutlak sapma modeli kullanarak portföy optimizasyonunu incelemiş ve optimizasyon programlarının daha etkin bir şekilde karşılaştırılması için ayrıştırma algoritmaları geliştirmişlerdir [20].

Anugrahayu ve Azmi, K-Medoids kümeleme ve dinamik zaman saplaması yöntemlerini kullanarak ortalama-varyans ve ortalama-mutlak sapma temelli portföy optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir [21]. Bello, Taiwo ve Adinya, Konno ve Yamazaki, Feinstein ve Thapa, Adjusted Feinstein ve Thapa ile düzeltilmiş ChiangLin portföy modellerini karşılaştırarak, Konno-Yamazaki ve düzeltilmiş ChiangLin modellerinin en iyi sonuçları verdiğini savunmuşlardır [22].

Fischer Black ve Robert Litterman tarafından geliştirilen Black-Litterman Modeli (1992), yatırımcıların kendi görüşlerini ve piyasa dengesini portföy seçimlerine entegre etmelerini sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu model, Markowitz'in ortalama-varyans optimizasyonu ve CAPM'nin temel prensiplerini bir araya getirerek, beklenen getirilerdeki belirsizlikler ile standart optimizasyon modellerinin ürettiği aşırı hassas portföy ağırlıklarının üstesinden gelmeyi hedefler. Yatırımcıların, piyasa dengesini ve kendi beklentilerini göz önünde bulundurarak daha gerçekçi ve uygulanabilir portföy ağırlıkları oluşturabilmeleri hedeflenmektedir [23].

Fama ve French (1992) modeli, varlık fiyatlamasını yalnızca piyasa riskiyle ilişkilendirmemiş, aynı zamanda şirket büyüklüğü ve defter/piyasa değeri oranı gibi faktörlerin hisse getirileri üzerinde önemli etkiler yaratabileceğini ortaya koymuştur. Fama-French Modeli, boyut ve defter/piyasa değeri gibi faktörlerin hisse senedi getirileri üzerindeki etkisini inceleyerek, CAPM'in ötesine geçip varlık fiyatlamasına daha geniş bir perspektif sunmaktadır. Fama-French Üç Faktör Modeli olarak bilinen bu çalışma, yalnızca piyasa riskine odaklanmak yerine, şirketlerin piyasa değerleri ve defter/piyasa değeri oranlarının hisse senedi getirileri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını kanıtlamıştır. Bu model, finansal varlık fiyatlaması ve portföy yönetimi alanında büyük bir katkı sağlamış

olup, günümüzde yatırım stratejilerinin oluşturulmasında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. [24].

Finansal piyasaların belirsizliklerle dolu yapısı, yatırımcıların yalnızca kesin verilere dayanarak karar almasını zorlaştırmaktadır. Bu belirsizlikler, yatırım getirilerinin tahmin edilmesini zorlaştırarak yatırımcıları daha fazla risk almaya yönlendirebilir. Bu noktada, belirsizliklerin yönetilmesine yönelik yeni modelleme yaklaşımları büyük bir rol oynamaktadır. Bu modeller arasında bulanık mantık ve kararsız bulanık mantık, finansal belirsizliklerin yönetiminde önemli araçlar haline gelmiştir. Bulanık mantık, kesin olmayan bilgileri kullanarak daha gerçekçi sonuçlar üretir ve belirsizliklerin modele dahil edilmesine olanak sağlar.

Finansal belirsizliklerin yönetilmesinde bulanık mantık önemli bir rol oynamaktadır. Lotfi Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen bulanık mantık teorisi, kesin olmayan bilgilerin yönetilmesine olanak sağlamış ve belirsizliğin matematiksel olarak ele alınmasını mümkün kılmıştır. Bu yaklaşım, finansal piyasalardaki belirsizliklerin modellenmesi ve yatırım kararlarının daha esnek bir şekilde alınması açısından önemlidir.

Bulanık mantığın finansal piyasalardaki uygulamaları, belirsiz verilerin daha iyi yönetilmesine ve portföy optimizasyonunun daha etkin bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Kocadağlı ve Cinemre [25], Konno ve Yamazaki'nin modelini bulanık getiri ve risk fonksiyonlarıyla geliştirerek, portföy seçiminde daha geniş bir bakış açısı sunmuşlardır. Fang vd. [26] ve Bozdağ ve Türe [27], yatırımcıların likidite deneyimlerini portföy modellerine entegre edebilmek için bulanık doğrusal programlama modelini kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Rayoo [28], yatırım getiri oranlarının negatif ve pozitif çarpık dağılımlarını ayırt edemeyen modellerin eksikliklerine dikkat çekmiş ve bu konuda çözüm önerileri sunmuştur. Huang [29], portföy riskini güvenilirliğe dayalı varyansla ölçerek, güvenilirlik temelli bulanık ortalama-varyans modelleri geliştirmiştir. Buna ek olarak, bulanık ortalama yarı-varyans modeli de yine Huang [30] tarafından önerilmiştir.

Chen vd. [31], Markowitz modelinde hem pozitif hem de negatif risklerin eşit derecede ele alınmasının yatırımcıların risk algısına uygun olmadığını belirtmiş ve modelin negatif risklere odaklanacak şekilde geliştirilmesi gerektiğini savunmuştur. Li vd. [32], bulanık şans kısıtlı portföy seçim modeline risk kısıtları ekleyerek optimal portföy problemini incelemişlerdir. Barak vd. [33] ise, varlık sınırlamaları ile likidite gereksinimlerini bir araya getiren bulanık bir ortalama-varyans-çarpıklık modeli geliştirmiş ve bu modelin çözümü için genetik algoritma ile bulanık simülasyonu birleştiren hibrit bir algoritma tasarlamışlardır.

Chen vd. [34], bulanık çok amaçlı portföy seçimi problemine, bulanık ortalama yarı değişkenlik kavramını veri zarflama analizi modeliyle birleştirerek katkı sağlamışlardır. Subulan [35], uzlaşık programlama ve bulanık hedef programlama tekniklerini kullanarak, çok amaçlı ve doğrusal olmayan karma tamsayılı bir programlama modeli geliştirmiştir.

Watada ise, bulanık portföy seçimi problemini ele almış ve bu çalışmada beklenen getiri ile riskteki belirsizlikleri incelemiştir [36]. Parra ve ark., getiri, risk ve likidite olmak üzere üç kriterli bir portföy seçimi modeli önererek, bu modeli bulanık hedef programlama yaklaşımıyla çözmüşlerdir[37]. Lin ve ark., yöneticilerin iş portföylerinin genel rekabet gücünü daha iyi anlamalarına yardımcı olmak için bulanık küme teorisini kullanmış ve portföy matrisleriyle birlikte sistematik bir yaklaşım sunmuşlardır [38].

Ammar, bulanık portföy optimizasyon problemini dışbükey karesel programlama ile modellemiş ve kabul edilebilir bir çözüm önermiştir [39]. Huang, getirilerin belirsiz olduğu durumlarda bir risk eğrisi sunmuş ve buna bağlı olarak ortalama risk modelini geliştirmiştir [40]. Huang ve Qiao ise, getirilerin karar vericilerin bilgilerine dayanarak bulanık değişkenler olarak tanımlandığı bulanık ortamlarda çok dönemli portföy seçimi üzerine araştırmalar yapmışlardır [41]. Li ve Xu, getiri, risk ve likidite kriterlerine bağlı olarak, yatırımcılar için bulanık rastgele getirilerle çok amaçlı bir portföy seçimi modelini incelemişlerdir [42].

Atanassov, bulanık küme teorisini genişleterek sezgisel bulanık kümeler kavramını geliştirmiştir. Bu teori, belirsizliğin farklı dereceleri ile yönetilmesine olanak sağlayarak, bir elemanın bir kümeye ait olma derecesi belirsizlik içerdiğinde kullanılan bir model ortaya koymaktadır. Sezgisel bulanık kümeler, özellikle finansal belirsizliklerin modellenmesi ve yönetilmesinde önemli bir katkı sunmaktadır. Bu model, yatırımcıların finansal piyasalarda karşılaştıkları karmaşık belirsizlikleri daha esnek ve etkili bir şekilde ele alabilmelerini sağlamaktadır [43].

Zadeh' in teorisinin bir uzantısı olan kararsız bulanık kümeler teorisi, belirsizliklerin birden fazla üyelik derecesi ile ifade edilmesine olanak tanıyan esnek bir modelleme yaklaşımı sunmaktadır. Torra (2010) tarafından geliştirilen bu teori, finansal piyasalar gibi belirsizliklerin yoğun olduğu ortamlarda güçlü bir modelleme aracı olarak kullanılmaktadır. Torra' nın kararsız bulanık kümeler teorisi, belirsizliklerin daha esnek ve gerçekçi bir şekilde modellenmesini sağlayarak, yatırımcıların belirsiz piyasa koşullarında daha sağlam stratejiler geliştirmesine olanak sağlamaktadır [44].

Bulanık küme teorisinin gelişiminde geline son noktayı tereddütlü bulanık kümeler oluşturmaktadır. Bir karar probleminde kriterlerin göreceli önemlerini belirlerken meydana gelecek kararsızlık, bir kriterin hangi kümeye üye olduğunun belirlenmesi hususunu zorlaştırabilir. Böyle bir kararsızlık durumunda sıradan bulanık kümeler problemin tanımlanması için yetersiz kalmaktadır. Bunun üzerine Torra ve Narukawa ve Torra tereddütlü bulanık kümeleri tanıtmış ve bu yaklaşımla belirsizliklerin daha kapsamlı bir şekilde modellenmesini mümkün kılmıştır. Rodriguez vd., tereddütlü bulanık kümeleri detaylı bir şekilde inceleyerek tereddütlü bulanık dilsel ifadeleri literatüre kazandırmıştır. Bu dilsel ifadeler, uzman karar vericiler için daha esnek bir araç sunmuş ve karar süreçlerinde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Özellikle dilsel ifadelerin matematiğe aktarımı konusunda tereddütlü bulanık kümeler, sıradan bulanık kümelere kıyasla daha güçlü bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Tereddütlü bulanık kümelerin kullanımı, farklı uzmanların dilsel değerlendirmelerinin herhangi bir bilgi kaybı olmadan ele alınmasını sağlamış ve tüm tereddütlerin netleştirilmesine olanak tanımıştır. Bu da karar süreçlerinde güvenilirlik ve gerçek yaşama uygunluğu artırmıştır [45][46].

Zhu ve ark., bu teoriyi daha da geliştirerek dual kararsız bulanık kümeler kavramını sunmuş ve bu kümeleri finansal problemlerin çözümünde kullanmıştır. Bu çalışmalar, portföy optimizasyonu ve finansal risk yönetiminde bulanık kümelerin uygulamalarını genişletmiştir [47]. Hao ve ark., olasılıklı dual kararsız bulanık kümeler üzerinde çalışmış ve belirsizlik altında yatırım kararları için daha sağlam modeller geliştirmiştir [48]. Zeng ve ark., ağırlıklı hiyerarşi kararsız bulanık kümeler kullanarak daha karmaşık finansal modellerde belirsizlik yönetimini ele almışlardır [49].

Kararsız bulanık kümeler, farklı risk profillerine sahip yatırımcılara alternatif portföy stratejileri sunarak risk ve getiri dengesini daha etkin yönetmelerine imkân tanır. Yatırımcılar, bu modelle belirsiz piyasa koşullarında daha geniş karar alma esnekliği kazanırlar.

Bu tezde, geleneksel modellerin sınırlamalarını aşmayı amaçlayan kararsız bulanık portföy optimizasyonu modeli geliştirilmiştir. Kararsız bulanık kümeler teorisi üzerine inşa edilen bu model, riskin minimize edilmesi ve getirinin maksimize edilmesi hedefiyle kurgulanmıştır. Türkiye'de Borsa İstanbul 50 (BIST 50) endeksinde işlem gören hisse senetlerinin kapanış değerleri kullanılarak test edilen bu model, yatırımcılara belirsiz getiriler ve riskler karşısında daha güvenilir ve esnek çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, BIST 50'de işlem gören hisse senetlerinin kapanış değerlerine dayalı olarak bir kararsız bulanık portföy optimizasyonu modeli geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Finansal piyasaların sürekli değişen yapısı ve belirsizliklerin hâkim olduğu piyasa koşullarında, yatırımcıların risk-getiri dengesini en iyi şekilde yönetebilmesi, modern finansal modellerin en önemli amaçlarından biridir. Bu çalışmada kararsız bulanık kümeler teorisi üzerine inşa edilen model, finansal belirsizlikleri daha esnek ve gerçekçi bir yaklaşımla ele alarak yatırımcılara güvenilir çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Modelin matematiksel olarak Konno-Yamazaki Modeli üzerine inşa edildiği bu çalışmada, ortalama mutlak sapmaya dayalı risk ölçüm yönteminin, finansal belirsizlikler altında portföy optimizasyonu için uygun olduğu belirtilmektedir. Modelin doğrusal programlama yapısı, yatırımcıların çeşitli güven düzeylerine göre risk-getiri analizleri yapmasına ve risk seviyelerine uygun stratejiler geliştirmesine imkân sağlamaktadır.

Uygulama sonuçlarına göre, her bir k değeri için hesaplanan alfa, getiri ve risk ortalamaları grafiklerle desteklenmiş ve sonuçlar ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, k değerlerinin artmasıyla riskin azaldığını, ancak getirinin de düştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar, yatırımcıların risk profillerine göre portföylerini optimize etmeleri için geniş bir seçenek yelpazesi sunmaktadır. Bu durum da belirsiz piyasa koşullarında daha sağlam yatırım stratejileri geliştirmelerine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmanın en önemli katkısı, geleneksel portföy teorilerinin sınırlamalarını aşarak belirsizliklerin kararsız bulanık kümeler ile modellenmesidir. Geleneksel modeller, risk ve getiriyi sadece belirli verilere dayalı olarak ele alırken, belirsizlik içeren finansal ortamlarda bu yeterli olmamaktadır. Birden fazla üyelik derecesi ile tanımlanan bu yapılar, yatırımcıların belirsizliklerle başa çıkarken daha fazla esneklik ve alternatif strateji geliştirme imkanını artırmaktadır. Türkiye'deki BIST 50 endeksinde işlem gören hisse senetlerinin kapanış verileri üzerinden test edilen model, yatırımcılara alternatif stratejiler sunarak risk-getiri dengesini daha etkin bir şekilde yönetme imkânı sağlamaktadır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde, kararsız bulanık kümeler teorisi ile geliştirilen model detaylandırılacak ve Türkiye'deki finansal piyasalarda nasıl uygulandığı kapsamlı bir şekilde analiz edilecektir. Modelin doğrusal programlama yapısı, her bir dönemde optimal yatırım oranlarının belirlenmesini sağlamakta ve güven seviyelerine göre yatırımcılara çeşitli seçenekler sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen kararsız bulanık portföy optimizasyon modeli hem teorik literatüre katkı sağlamakta hem de uygulamada yatırımcılara pratik çözümler sunmaktadır. Gerçek piyasa verileri ile test edilen model, sunduğu esneklik sayesinde

yatırımcıların karşılaştıkları riskleri minimize etmelerine ve getiriği maksimize etmelerine olanak tanımaktadır.



2. PORTFÖY ANALİZİ

2.1. Portföy Yönetimi

Portföy, finansal sistemde, yatırımcıların belirli hedeflere ulaşmak için bir araya getirdikleri çeşitli varlıkların dengeli ve stratejik bir kombinasyonudur. Bu yapı, yatırımcının ekonomik koşullara ve bireysel tercihlerine göre şekillenerek, farklı risk-getiri dengelerini içinde barındırmaktadır. Menkul kıymetler açısından ise portföy, birden fazla finansal aracın birlikte değerlendirildiği ve yönetildiği bir varlık grubudur. Bu bağlamda, portföy kavramı, bir bütün olarak yönetilmesi gereken dinamik bir yapıyı temsil etmektedir.

Hedefleri olan bireyler, gelecekteki durumlarını güvence altına almak için mevcut kaynaklarını en iyi şekilde değerlendirmeye çalışmaktadır. Bu süreç, planlama, programlama ve yatırım yapmayı gerektirmektedir. Finansal sistem içerisinde yer alan aracı kuruluşlar, bireylere ve işletmelere bu konuda yardımcı olmak için kurulmuş önemli aktörlerdir. Bu kuruluşlar, bireylerin veya işletmelerin sahip olduğu nakdi değerleri, hisse senedi, tahvil veya diğer değerli varlıklara dönüştürerek gelecekte bir getiri sağlamayı hedeflemektedir. Ancak bu getiriler her zaman belirsizlik ve risk unsurlarını içerir. İşte bu noktada, portföy analizi ve yönetimi, riskleri minimize ederken getirileri optimize etme sürecinin temel unsurlarından biri olarak devreye girmektedir.

Portföy yönetimi, yatırımcıların hedeflerine ulaşmak için sahip oldukları varlıkların etkin bir şekilde seçilmesi, düzenlenmesi ve gerektiğinde güncellenmesini kapsayan bir süreçtir. Bu süreçte, yatırımcıların ekonomik koşullara, bireysel risk algılarına ve getiri beklentilerine uygun stratejiler geliştirilmektedir. Portföy yönetiminin temel amacı, sahip olunan servetin satın alma gücünü korumak, serveti artırmak ya da yatırımcının kabul ettiği bir risk seviyesinde en yüksek getiriyi elde etmektir. Bu amaçlar doğrultusunda, menkul kıymetlerin portföye dahil edilmesi veya portföyden çıkarılması gibi kritik kararlar alınır. Örneğin, portföyün etkin bir şekilde yönetilmesi için hangi menkul kıymetlerin, ne zaman ve hangi koşullarda dahil edilmesi ya da elden çıkarılması gerektiği konusunda öngörülü davranmak gereklidir. Bu stratejik kararlar, portföy yönetiminin etkinliğini doğrudan etkilemektedir.

Portföy yönetimi hem bireysel yatırımcılar hem de kurumsal yatırımcılar için büyük önem taşır. Ekonomik koşulların değişkenliği, piyasa dinamikleri ve yatırımcının bireysel hedefleri, portföyün yapısını doğrudan etkiler. Bu nedenle, portföylerin sadece statik bir yapı

olarak düşünülmesi yanlış olur. Portföy, sürekli güncellenmesi gereken, esnek ve dinamik bir yapıdır. Bu yapının en önemli unsuru ise portföydeki varlıkların birbiriyle ilişkili olması ve bu ilişkinin ölçülebilir bir şekilde değerlendirilebilmesidir.

Portföy kelime anlamı olarak ‘cüzdan’ demektir. Menkul kıymetler açısından portföy, menkul kıymetlerden oluşan bir topluluğu ifade etmektedir. Yapılan birçok tanımlarda dikkate alınarak genel bir portföy tanımı yapılacak olunursa, belirli amaçları gerçekleştirmek isteyen yatırımcıların sahip oldukları, birbirleriyle ilişkisi olan ve kendine öz ölçülebilir nitelikleri olan yeni bir varlık olduğunu belirtmek mümkün olacaktır [50].

Sonuç olarak, portföy kavramını genel bir ifadeyle açıklamak gerekirse, "Portföy, yatırımcıların belirli hedeflere ulaşma doğrultusunda sahip oldukları, birbirleriyle ilişkilendirilebilen ve ölçülebilir özelliklere sahip varlıkların dinamik bir bileşimidir." Yatırımcıların başarıya ulaşması, portföylerinin ekonomik koşullara ve kendi hedeflerine uygun şekilde optimize edilmesi ile mümkün olabilir. Bu nedenle, portföy analizi ve yönetimi, yatırım kararlarının en kritik unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

2.1.1. Portföy analizinde kullanılan temel kavramlar

Finansal piyasalar, yatırımcılar için getiriye maksimize etme ve riskleri minimum düzeye indirme amacı doğrultusunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu hedeflere ulaşabilmek için temel analiz, teknik analiz, geleneksel portföy kuramı ve modern portföy kuramı gibi çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yatırım kararlarını yönlendiren bu yöntem ve teoriler, yatırımcılara piyasa dinamiklerini anlamada ve stratejik planlar oluşturma sürecinde rehberlik etmektedir [51].

Finansal piyasalarda borsalar, menkul kıymetlerin alım ve satımının düzenli bir şekilde gerçekleştirildiği önemli platformlardır. Borsalar, yalnızca ekonomik bir araç değil, aynı zamanda bir ülkenin sanayileşme düzeyini ve halka açılma oranını yansıtan sosyal bir göstergedir. Düzenli işleyen bir borsa, menkul kıymetlerin pazarlanabilirliğini artırarak ekonomiye kaynak yaratır ve ekonominin genel durumu hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, sanayide yapısal değişikliklerin gerçekleşmesine katkıda bulunarak ekonomik gelişimin temel taşlarından biri haline gelir [52].

Menkul kıymetler, yatırım aracı olarak kullanılan ve belirli bir meblağı temsil eden kıymetli evraklardır. Bu evraklar, yatırımcılara dönemsel getiri sağlayan ve ortaklık veya alacaklılık gibi haklar sunan finansal varlıkları ifade etmektedir. Hisse senetleri ise bu varlıklar arasında özel bir yere sahiptir. Bir anonim şirketin sermaye paylarını temsil eden hisse senetleri, sahibine şirkette ortaklık, oy kullanma, kâr payı alma ve sermaye artırımında

öncelikli pay alma gibi haklar sunmaktadır. Bu özellikleriyle hisse senetleri, yatırımcılar için uzun vadeli değer yaratma potansiyeline sahiptir.

Borsalarda kullanılan yatırım stratejilerinden biri de arbitrajdır. Arbitraj, finansal varlıkların farklı piyasalarda farklı fiyatlardan işlem görmesinden faydalanarak risksiz kazanç elde etme stratejisini ifade eder. Bu strateji, aynı varlığın düşük fiyatlı bir piyasadan satın alınıp daha yüksek fiyatlı bir piyasada satılarak kâr elde edilmesi üzerine kuruludur [50]. Arbitraj, yatırımcılara fiyat farklılıklarından faydalanma imkânı sunarak piyasa dengesizliklerini minimize etme işlevi de görmektedir.

Sonuç olarak, finansal piyasaların işleyişi, borsaların yapısı ve yatırım araçlarının çeşitliliği, yatırımcıların stratejik kararlarını şekillendiren temel unsurlar arasındadır. Yatırımcılar, bu unsurları dikkate alarak getirilerini artırmayı ve risklerini azaltmayı hedefleyen yöntemler geliştirmektedir. Piyasa dinamiklerini ve yatırım araçlarının özelliklerini anlamak, etkin bir portföy yönetimi için kritik öneme sahiptir.

2.1.2. Risk Kavramı

Risk, en geniş tanımıyla, belirli bir olayda kaybetme ihtimalini ifade eder ve objektif olasılıklar ile ölçülebilir. Portföy yönetimi bağlamında ise risk, bir portföyün beklenen getirisi ile gerçekleşen getirisi arasındaki sapma olasılığı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, finansal risk, beklenen getiriden sapma ihtimaliyle ilişkilendirilir [53]. Yatırımcı açısından bu, yapılan yatırımdan elde edilen getirinin beklenenden düşük ya da yüksek olma ihtimalini ifade eder ve bu ihtimal, yatırımın riskini oluşturur.

Risk, gelecekteki belirsizliklerin ve olayların, beklenen sonuçlardan sapma ihtimaliyle hedeflere ulaşma sürecini etkileyen bir durumdur. Yatırımcılar, yaptıkları yatırımların getirilerinin kesin olarak tahmin edilemeyeceğini kabul ederler. Bununla birlikte, yatırımların farklı olası getirileri ve bu getirilerin olasılık dağılımlarının öngörülebileceğini varsayarlar. Örneğin, yazı-tura oyunu riskli bir durumu temsil eder; ancak sonuçlar (yazı veya tura) belirli bir olasılık çerçevesinde tahmin edilebilir. Benzer şekilde, finansal piyasalar da olasılık dağılımları aracılığıyla riskin analiz edilmesine olanak sağlar [54].

Risk'in ölçülmesi, yatırımcılar için kritik bir süreçtir. Portföy yönetiminde, risk genellikle standart sapma veya varyans gibi istatistiksel ölçülerle hesaplanır [50]. Standart sapma, bir portföyün getirilerinin ortalamadan ne kadar saptığını gösteren bir ölçüttür ve yatırımcıya, portföyün ne kadar değişkenlik içerdiğini anlamasında yardımcı olur. Daha yüksek bir standart sapma, daha yüksek bir risk anlamına gelir. Bu nedenle, yatırımcılar

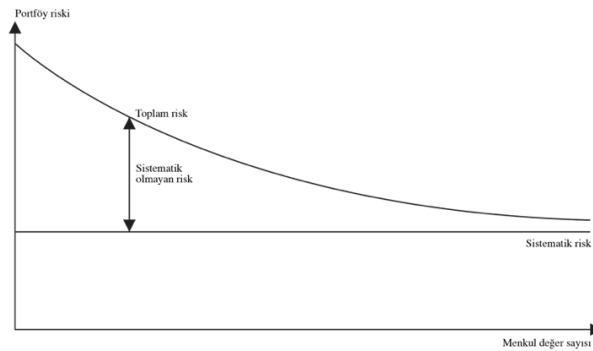
portföylerini yapılandırırken bu ölçümleri dikkate alarak, risk-getiri dengesini optimize etmeyi hedeflerler.

Sonuç olarak, risk, yalnızca olumsuz bir durum olarak görülmemelidir; aynı zamanda yatırım fırsatlarını değerlendirme sürecinin bir parçasıdır. Yatırımcılar, belirsizlikleri ve olasılıkları analiz ederek, risk varsayımı altında sonuçların gerçekleşme ihtimalini tahmin edebilir ve bu doğrultuda daha bilinçli kararlar alabilirler. Risk ölçüm araçları, portföylerin etkin yönetimi ve yatırımcıların hedeflerine ulaşması açısından vazgeçilmezdir.

Yatırım kararları, risk ve belirsizlik unsurlarının dikkatle analiz edilmesini gerektirmektedir. Risk, finansal yatırımların ayrılmaz bir parçası olup yatırımcıların karşı karşıya kaldığı olası kayıpları ve beklenmedik sapmaları ifade etmektedir. Bu bağlamda, risk kaynaklarının belirlenmesi, yatırım kararlarının daha sağlıklı alınmasına olanak tanır. Yatırım analizi, riskin oluş nedenleri ve etkileri doğrultusunda farklı türde risk çeşitleri ve grupları üzerinde durmaktadır. Portföy teorisinde, yatırımcıların riski kontrol altına alabilme veya sınırlayabilme olanaklarına bağlı olarak toplam risk, sistematik risk ve sistematik olmayan risk olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Bu sınıflandırma, yatırımcıların karşılaşılabileceği risk türlerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Mali yatırımcıların karşı karşıya olduğu toplam risk, sistematik risk ve sistematik olmayan risk olmak üzere iki temel bileşene ayrılmaktadır [55].

Risk kaynaklarının analiz edilmesi, yatırımcıların karşılaşılabilecekleri olasılıkları daha iyi anlamalarına olanak sağlar. Toplam riskin bileşenlerini anlamak, yatırımcıların portföylerini yapılandırırken daha bilinçli kararlar almasına katkıda bulunur. Sistematik riskin kontrol edilemez doğasına rağmen, sistematik olmayan riskin yönetilebilir olması, portföy çeşitlendirilmesinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Risk bileşenlerinin grafiksel gösterimi Şekil 2.1.' de verilmiştir;



Şekil 2.1. Risk Bileşenleri

Sistematik risk, piyasa genelindeki ekonomik, politik veya finansal faktörlerden kaynaklanan ve portföy çeşitlendirilmesiyle ortadan kaldırılamayan bir risk türü olarak tanımlanır. Bu nedenle, sistematik risk genellikle yatay eksene paralel bir doğru ile temsil edilir ve portföy çeşitlendirilse dahi sabit kaldığı varsayılır. Bununla birlikte, sistematik riskin seviyesi her zaman sabit bir düzeyde kalmayabilir; bazı portföylerde bu risk daha düşük veya daha yüksek seviyelerde ortaya çıkabilir. Her portföyde bir miktar sistematik risk bulunmakla birlikte, bu riskin düzeyi portföyün türü ve bileşenlerine bağlı olarak farklılık gösterebilir [50].

Yatırımcıların risk kaynaklarını analiz etmeleri ve bu doğrultuda stratejiler geliştirmeleri, portföy yönetiminde başarıya ulaşmak için kritik öneme sahiptir. Toplam riskin bileşenleri olan sistematik ve sistematik olmayan risk, yatırım sürecinde dikkate alınması gereken temel unsurlardır.

Sistematik risk: Sistematik risk, finansal piyasaların doğasında bulunan ve yatırımcıların kontrolü dışında gelişen makroekonomik faktörlerden kaynaklanan risk türüdür. Tüm piyasayı etkileyen bu risk, ekonomik durgunluk, faiz oranlarındaki değişimler, enflasyon, döviz kuru dalgalanmaları veya küresel ekonomik krizler gibi faktörlerden kaynaklanabilir [55]. Sistematik risk, portföy çeşitlendirilmesi yoluyla azaltılamaz ve yatırımcıların karşı karşıya olduğu kaçınılmaz bir risk unsuru olarak kabul edilir. Bu nedenle, sistematik risk, yatırım kararlarında dikkate alınması gereken en kritik bileşenlerden biridir. Kendi içinde; piyasa riski, faiz oranı riski, satın alma gücü riski ve politik risk olmak üzere dört farklı başlık altında incelenebilmektedir.

a) **Piyasa riski:** Sermaye piyasalarında, finansal varlıkların pazar fiyatlarında zaman zaman büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Bu dalgalanmalar, kimi zaman belirli nedenlere dayandırılabilirken, kimi zaman hiçbir açık gerekçe olmaksızın ortaya çıkabilir. Bu tür ani fiyat düşüşlerinin yatırımcıların getirileri üzerindeki olumsuz etkisi, piyasa riski olarak adlandırılmaktadır [56]. Piyasa riski, yatırımcıların sermaye piyasasındaki menkul kıymetlerin değer kaybetmesi sonucunda karşı karşıya kaldıkları finansal kayıpları ifade eder ve genellikle makroekonomik değişimlerden veya yatırımcı beklentilerindeki ani dalgalanmalardan kaynaklanır.

Tarihte yaşanan büyük ekonomik krizler, piyasa riskinin somut örneklerini gözler önüne sermektedir. Örneğin, 1929 Ekonomik Buhranı sırasında hisse senedi fiyatlarının hızla düşmesi, birçok yatırımcının elindeki menkul kıymetlerin bir anda değersiz hale gelmesine neden olmuştur. Bu durum, yalnızca bireysel yatırımcıları değil, aynı zamanda

küresel finans piyasalarını da ciddi şekilde etkilemiş ve yüzlerce insanın mali yıkımın ardından intihar etmesine yol açmıştır [51].

Piyasa riski, hem tahvillere hem de hisse senetlerine etki eden bir risk türüdür. Bununla birlikte, hisse senetleri piyasa riskinden daha fazla etkilenmektedir. Çünkü hisse senetlerinin kazançları belli değildir ve bu durum onları piyasa riskine karşı daha duyarlı hale getirmektedir [57]. Bu farklılık, yatırımcıların finansal araçlar üzerindeki risk algılarını şekillendirirken, portföy çeşitlendirilmesi stratejilerinde de etkili olmaktadır.

Günümüzde, küreselleşen finans piyasaları, ülkeler arası ekonomik bağların daha sıkı hale gelmesine yol açmıştır. Örneğin, bir Amerikalı yatırımcının "Benim Honda'm" diyerek Japonya merkezli bir şirketin hisselerine sahip çıkması veya bir Japon yatırımcının Amerikan bir şirketin hisselerini elinde bulundurması, küresel piyasalardaki entegrasyonu yansıtmaktadır. Bu bağlamda, herhangi bir uluslararası finansal olay, yalnızca yerel bir piyasayı değil, küresel ölçekte bir domino etkisi yaratarak diğer ekonomileri de derinden etkileyebilmektedir [51], [55].

b) Faiz oranları riski: Faiz oranı riski, piyasa faiz oranlarının artması veya azalması ihtimalini ifade eden önemli bir kavramdır. Faiz oranlarındaki değişimler, sabit faiz getirisine sahip menkul kıymetlerin piyasa fiyatlarını ve dolayısıyla bu varlıkların getiri oranlarını doğrudan etkiler. Özellikle sabit getirili menkul kıymetlere yatırım yapan yatırımcılar için bu risk belirgin hale gelir. Piyasa faiz oranlarının yükselmesi durumunda, sabit faiz getirisine sahip menkul kıymetlerin değeri düşer, bu da yatırımcıların zarar etmesine yol açabilir [58].

Faiz oranlarındaki artış, menkul kıymet fiyatları üzerinde olumsuz etkilere yol açarak faiz oranı riskini ortaya çıkarır. Piyasa faiz oranlarında meydana gelen değişimler, menkul kıymetlerin piyasa fiyatlarını önemli ölçüde etkiler. Faiz oranları, uzun dönemlerde hem yukarı hem de aşağı yönlü hareketler sergileyebilir ve bu değişimler, menkul kıymet fiyatlarında aynı yönde bir dalgalanmaya neden olur. Özellikle sabit getirili menkul kıymetlerde bu etki, değişken getirili menkul kıymetlere kıyasla çok daha belirgin bir şekilde hissedilir [59]. Tahvil ve hisse senetlerinin değerleri, faiz oranları ile ters bir ilişkiye sahiptir. Faiz oranlarının yükselmesi durumunda, bu menkul kıymetlerin değeri düşerken; faiz oranlarının düşmesi durumunda ise değerlerinde artış gözlemlenir.

Sabit faizli borçlanma araçları, özellikle uzun vadeli yatırımlarda faiz oranı riskine daha fazla maruz kalır. Faiz oranlarındaki artış, yatırımcıların bu varlıklardan elde etmeyi umdukları getiri ile piyasa koşulları arasındaki farkı büyütürken alternatif yatırım araçlarının daha cazip hale gelmesine neden olabilir. Bu durum, yatırımcıların portföylerindeki değer

kaybını minimize etmek için faiz oranı riskine karşı çeşitli koruma stratejileri geliştirmelerini gerektirir.

Tahvillerin değeri, yatırımcılara sağladığı gelirlerin bugünkü değerine eşittir ve bu değer, piyasa faiz oranları tarafından belirlenir. Piyasa faiz oranlarında meydana gelen bir değişiklik, sabit faiz getirisine sahip tahvillerin piyasa fiyatını ters yönde etkiler. Örneğin, piyasa faiz oranının tahvil faiz oranını aşması durumunda tahvilin piyasa değeri düşerken, faiz oranının tahvil faiz oranının altına düşmesi halinde tahvilin fiyatı artış gösterebilir [60]. Bu ilişki, tahvillerin piyasa fiyatlarının faiz oranlarındaki dalgalanmalara karşı duyarlılığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Bu ilişki, tahvil fiyatlarının piyasa faiz oranlarına karşı duyarlılığını açıklayan önemli bir gösterge sunar. Faiz oranındaki değişimlerin etkisi, sabit faiz gelirine sahip menkul kıymetlerde genellikle daha belirgindir ve bu durum yatırımcıların risk yönetimi stratejilerinde kritik bir rol oynar [57].

c) Satın alma gücü riski: Satın alma gücü riski, bir ülkenin gelecekteki nakit akışlarının yatırımcıların satın alma gücü üzerindeki etkileriyle ortaya çıkan bir belirsizlik durumunu ifade eder. Bu risk, genellikle "enflasyon riski" olarak da anılabilir. Enflasyonun, fiyatlar genel seviyesindeki sürekli yükselme nedeniyle paranın satın alma gücünü düşürmesi, menkul kıymet yatırımlarının getiri oranlarını ve verimliliğini olumsuz yönde etkiler [51]. Hisse senetleri, değişken gelir özellikleri nedeniyle sabit gelir sağlayan tahvillere kıyasla satın alma gücü riskine daha az maruz kalma eğilimindedir. Ancak, bu durum hisse senetlerinin enflasyon dönemlerinde her zaman reel satın alma gücünü artıracığı anlamına gelmez. Hisse senetlerinin kazançları, enflasyon oranındaki artışa bağlı olarak dalgalanabilir ve bu da yatırımcılar için beklenmedik sonuçlara yol açabilir [60].

Enflasyon, menkul kıymet yatırımlarından beklenen getirileri ve dolayısıyla menkul kıymetlerin değerini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle, enflasyon, menkul kıymet yatırımlarının reel kârlılık düzeylerini şekillendiren kilit bir faktör olarak kabul edilir [61]. Satın alma gücü riski, yatırım kararlarının planlanmasında önemli bir faktördür. Yatırımcılar, bu riski minimize etmek için portföylerini çeşitlendirmenin yanı sıra, enflasyonla ilişkili varlıkları stratejik olarak değerlendirebilir. Bu şekilde, paranın değer kaybına karşı daha etkili bir koruma sağlanabilir.

d) Politik risk: Siyasi ve ekonomik krizlerin yanı sıra, savaş gibi olağanüstü durumların meydana gelmesiyle ortaya çıkan risk türü, finansal piyasalarda geniş kapsamlı etkiler yaratabilmektedir. Bu tür olayların yarattığı belirsizlikler, yatırımcıların karar alma süreçlerini karmaşık hale getirirken, döviz kurlarındaki sert dalgalanmalar ve yabancı

sermaye yatırımlarındaki azalmalar gibi faktörler de bu riskin kapsamına dahil edilmektedir [51]. Bu durumlar, finansal piyasaların istikrarını bozarak, yatırımcıların portföylerinde ani ve beklenmedik kayıplara yol açabilir.

Bu tür risklerin yönetimi, yatırımcıların küresel gelişmeleri yakından takip etmelerini ve portföylerinde uluslararası çeşitlendirmeye gitmelerini gerektirebilir. Ayrıca, krizlerin doğrudan etkilediği sektörler ve bölgesel piyasalara yapılan yatırımların dikkatle analiz edilmesi, bu risklere karşı alınabilecek önlemler arasında yer almaktadır. Ekonomik ve siyasi istikrarsızlık dönemlerinde, yatırımcıların belirsizliklere karşı koruyucu stratejiler geliştirmeleri büyük önem taşımaktadır.

Sistemik olmayan risk: Sistemik olmayan risk, belirli bir işletme, sektör veya menkul kıymete özgü olan ve tüm piyasayı etkilemeyen risk türüdür. Bu risk, şirketin yönetim stratejilerindeki başarısızlıklar, sektörel dalgalanmalar, ürün talebindeki değişiklikler ya da işletmeye özgü diğer faktörlerden kaynaklanabilir. Sistemik olmayan risk, yatırımcılar tarafından sınırlandırılabilen ve yönetilebilen bir risk grubudur. Portföy çeşitlendirilmesi yoluyla büyük ölçüde azaltılabilir ve bu nedenle sistemik riske kıyasla daha kontrol edilebilir bir nitelik taşımaktadır. Bu risk türü, kendi içinde farklı unsurlar barındırmaktadır. Finansal risk, faaliyet riski, yönetim riski, endüstri riski sistemik olmayan riskin başlıca bileşenleridir.

a) **Finansal risk:** Finansal risk, işletmelerin borç yükümlülüklerini yerine getirme kapasitesindeki zayıflamalar ve gelirlerin sürekliliğini kaybetme ihtimaliyle ilişkilendirilen bir risk türüdür. Bu durum, işletmelerin dış kaynaklara bağımlılığının artmasıyla daha belirgin hale gelir. Özellikle banka kredileri, tahvil gibi faiz ödemesi taahhüdü içeren borçlanmalar, finansal riskin artmasına neden olmaktadır [52]. Finansal risk, işletmelerin ekonomik dalgalanmalara ve çevresel faktörlerdeki değişimlere uyum sağlayamaması durumunda ortaya çıkan bir tehdit olarak tanımlanabilir. Bu risk, özellikle faiz ödemeleri ve kâr payı dağıtımı gibi finansal yükümlülüklerin yerine getirilememesi durumunda işletmelerin mali sürdürülebilirliğini ve operasyonel devamlılığını olumsuz etkileyebilmektedir.

Bir işletmenin finansal risk seviyesini artıran çeşitli faktörler bulunmaktadır. Borçlanma oranındaki artış, finansal yükümlülüklerin artmasına ve nakit akışında zorluklara yol açabilir. Satış gelirlerindeki düşüş, işletmenin kârlılığını ve likiditesini olumsuz etkilerken, hammadde maliyetlerindeki yükseliş üretim maliyetlerini artırarak kâr marjını daraltabilir. Bunun yanı sıra, teknolojik gelişmelere uyum sağlanamaması, işletmenin rekabet gücünü zayıflatabilir. Sektördeki yoğun rekabet ortamı, fiyatlama stratejileri

üzerinde baskı oluşturunca, işçi grevleri veya üretimde meydana gelen kesintiler işletme faaliyetlerinin sürekliliğini tehdit edebilir. Ayrıca, işletme sermayesinin yetersiz olması, günlük operasyonların finansmanında ve kısa vadeli yükümlülüklerin karşılanmasında sorunlara neden olabilir. Tüm bu etmenler, işletmelerin mali sürdürülebilirliğini ve operasyonel performansını olumsuz yönde etkileyen önemli finansal risk faktörleridir.

Bu faktörler, işletmelerin mali yapısını zayıflatarak finansal yükümlülüklerini yerine getirme kapasitesini olumsuz etkileyebilir. Artan borçlanma oranları ve yetersiz finansal destek kaynakları, işletmelerin nakit akışını baskı altına alarak risk seviyesini yükseltebilir. Özellikle, faiz ödemesi gerektiren banka kredilerinin veya tahvil ihraçlarının artması, işletmelerin finansal kırılganlığını daha da derinleştirmekte ve mali sürdürülebilirliklerini tehdit etmektedir. Bu tür finansal baskılar, işletmenin stratejik karar alma süreçlerini de olumsuz etkileyerek uzun vadeli büyüme hedeflerinden sapmasına yol açabilir.

Bir işletmenin finansal riskini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri, Borç/Toplam Aktif oranıdır. Bu oran, işletmenin toplam yatırımlarının ne kadarının borç kaynaklarıyla finanse edildiğini gösterir. Yatırımcılar açısından bu oranın düşük olması, mali güvenilirlik ve menkul kıymet yatırımları açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilir. Daha düşük bir oran, işletmeye yatırım yapanlar için daha yüksek bir güvence sunar ve finansal riskin azalmasını sağlar [62].

b) Faaliyet riski: İşletmelerin aktif yapısı, faaliyet riskinin seviyesini belirleyen önemli unsurlardan biridir. Toplam aktifleri içinde sabit aktiflerin oranı yüksek olan işletmeler, genellikle daha fazla faaliyet riski taşır. Sabit aktiflerin yüksekliği, işletmenin makine, ekipman ve diğer uzun vadeli varlıklara yaptığı yatırımların büyük bir paya sahip olduğunu gösterir. Bu durum, işletmenin sabit giderlerinin de yüksek olduğu anlamına gelir. Sabit giderlerin yüksek olması, satışlarda yaşanabilecek olası bir düşüş durumunda, bu giderlerin azaltılamaması nedeniyle işletmenin maliyetlerini karşılamada zorlanmasına ve zarar etmesine yol açabilmektedir.

Bu nedenle, yatırım yapılmadan önce ilgili kuruluşun faaliyetlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve gelecekteki performansı hakkında öngörülerde bulunulması büyük önem taşımaktadır [57].

c) Yönetim riski, işletmelerde yönetim süreçlerindeki yetersizliklerden veya hatalardan kaynaklanan olumsuz durumları ifade eder. Stratejik karar alma süreçlerinde yapılan hatalar, operasyonel planlamadaki eksiklikler veya yönetim becerilerindeki zayıflıklar, işletmenin satışlarında düşüşe, kâr oranlarında azalmaya ve genel performansında bozulmalara yol

açabilmektedir. Bu tür riskler, işletmenin sürdürülebilirliğini ve rekabet gücünü doğrudan tehdit edebilmektedir.

Bunun yanı sıra, yönetim hataları, işletmenin hisse senetlerinin değerini belirleyen temel faktörler üzerinde ciddi bir etki yaratabilir. Yanlış alınan bir yatırım kararı, işletmenin sabit giderlerini artırabilir ve bu durum faaliyet riskinin yükselmesine neden olabilir. Aynı şekilde, kaynakların yanlış yönetilmesi veya finansman stratejilerindeki hatalar, işletmenin finansal riskini artıran unsurlar arasında yer alır [63].

Ancak yönetim risklerini, iyi çeşitlendirilmiş bir portföy ile büyük ölçüde ortadan kaldırmak mümkündür. Portföy çeşitlendirme stratejileri, yatırımcıların farklı işletmelerin yönetim performanslarına bağlı risklerden korunmasını sağlayarak bu tür belirsizlikleri minimize edebilir [50].

d) Endüstri Riski: Endüstrilerde beklenen değişimler genellikle ekonomik koşullar, yasal düzenlemeler ve piyasa tutumlarındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Bu tür değişiklikler, işletmelerin kârlılığını olumsuz etkileyebilir ve dolayısıyla menkul kıymetlerinin değerinde düşüşe yol açabilir [62]. Endüstrinin genel yapısındaki bu dalgalanmalar, yalnızca o sektördeki işletmeleri etkilerken, diğer sektörler çoğu zaman bu etkilerden bağımsız kalabilir.

Riskinin yüksek olduğu bir sektörde faaliyet göstermek, işletmeler için daha fazla belirsizlik anlamına gelir. Bu nedenle, menkul kıymetlere yatırım yapmadan önce yalnızca hedef sektördeki riskler değil, diğer sektörlerin taşıdığı potansiyel riskler de dikkatle incelenmelidir. Sektörel risklerin değerlendirilmesinde, ekonomik dalgalanmalardan kaynaklanan değişimlerin yanı sıra, hammaddelerin temininde dışa bağımlılık gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle, hammaddesi büyük ölçüde ithalata dayalı olan sektörler, yerel kaynakları kullanan sektörlerle kıyasla daha yüksek risk taşımaktadır. Dışa bağımlılığın neden olduğu fiyat dalgalanmaları ve arz kesintileri, bu tür sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler için daha büyük tehditler oluşturabilir. Bu nedenle, endüstri riskinin analizinde hammaddelerin kaynağı, sektörel bağımlılıklar ve ekonomik dengeler gibi faktörlerin kapsamlı bir şekilde ele alınması kritik öneme sahiptir [62].

2.1.3. Getiri Kavramı

Getiri, yatırımcıların bir yatırım dönemi boyunca elde ettiği geliri ifade eder. Bu gelir, yatırımcıların yaptığı yatırım karşılığında elde ettikleri kazançlar olarak tanımlanır. Yatırımcıların temel hedefi, yaptıkları yatırımlardan maksimum kazanç sağlamaktır. Ancak

finansal piyasalar belirsizliklerle dolu olduğu için gelecekteki kazançları tahmin etmek çoğu zaman zordur. Bu durum, yatırımcıların gelecekteki kazançlarını değerlendirmelerinde önemli bir kavram olan beklenen getiriyi ön plana çıkarmaktadır.

Beklenen getiri, bir finansal varlığın geçmiş performansına dayanarak yapılan bir modelleme ile gelecekte elde edilmesi öngörülen getiriyi ifade eder. Başka bir ifadeyle, bir finansal varlığın gelecekteki davranışını geçmiş verilere dayalı olarak tahmin etme sürecidir. Bu kavram, belirsizlik ortamında yatırımcıların kazançlarını analiz etmelerine ve geleceğe yönelik daha bilinçli kararlar almalarına olanak tanır [64]. Bu yaklaşım, yatırımcıların çeşitli senaryolar altındaki kazançlarını değerlendirmelerini ve bu doğrultuda stratejiler geliştirmelerini sağlamaktadır.

Portföy yönetiminde beklenen getiri kavramı daha da kritik bir öneme sahiptir. Bir portföyde yer alan varlıkların beklenen getirilerinin ağırlıklı ortalaması, portföyün genel beklenen getirisini oluşturur [52].

Getiri ve beklenen getiri kavramları, yatırımcıların karar alma süreçlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Getirinin doğru tahmini ve bu tahmin doğrultusunda portföy yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, yatırımcıların risklerini minimize ederken kazançlarını maksimize etmelerine olanak sağlar. Yatırım kararlarının başarısı, bu kavramların etkin bir şekilde analiz edilmesi ve uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

2.1.4. Risk – Getiri İlişkisi ve Yatırımcı Türleri

Portföy yönetiminin temelinde, risk ve getiri arasındaki ilişkiyi anlamak ve yatırım kararlarını buna göre şekillendirmek yatmaktadır. Herhangi bir menkul kıymete yatırım yapılırken dikkate alınacak en önemli unsur, söz konusu menkul kıymete ait risk ve getiri arasındaki ilişkidir. Yatırım araçlarının seçimi büyük ölçüde bu iki unsurun karşılaştırılmasını ve bunlar arasında uygun bir denge kurulmasını gerektirir [65].

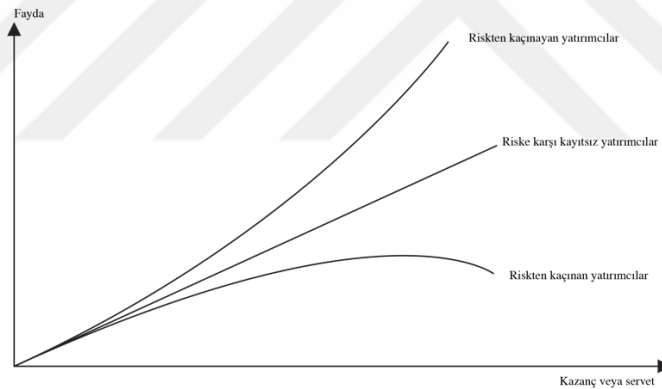
Risk, genellikle beklenen getirinin gerçekleşen getiriden sapma olasılığı olarak tanımlanırken, getiri, yatırımcıların bir menkul kıymetten elde ettiği finansal kazancı ifade eder. Teorik olarak, yüksek getiriler daha yüksek risklerle birlikte gelir. Bu durum, portföy kuramının temel varsayımlarından biri olan "risk ve getiri arasında pozitif bir ilişki" prensibini destekler. Ancak her yatırımcının riske olan toleransı, yani risk algısı farklıdır ve bu durum yatırımcıların davranışlarını doğrudan etkiler [55].

Yatırımcılar, risk toleranslarına göre üç ana gruba ayrılabilir:

a) Riskten Kaçınan Yatırımcılar, belirsizlik karşısında daha temkinli davranır ve düşük riskli yatırım araçlarını tercih ederler. Riskten kaçınan yatırımcılar için, riskin artması fayda fonksiyonunun azalmasına yol açar. Bu nedenle, getirisi düşük de olsa, güvenilirliği yüksek sabit getirili menkul kıymetlere yönelirler [55]. Örneğin, devlet tahvilleri veya yüksek kredi notuna sahip şirketlerin tahvilleri bu yatırımcılar için uygun yatırım araçlarıdır.

b) Risksiz Yatırımcılar, risk ve getiri arasında kayıtsız bir tutum sergiler. Fayda fonksiyonları doğrusal bir yapı gösterir, yani riskin artışı onların fayda algısını değiştirmez. Bu grup yatırımcılar, yatırım yaparken getiriye riskten bağımsız bir unsur olarak değerlendirir ve belirli koşullarda daha esnek yatırım kararları alabilir [55].

c) Risk Seven Yatırımcılar, yüksek getiri potansiyeli karşısında risk almaktan çekinmezler. Onlar için risk, bir fırsat olarak algılanır. Özellikle uzun vadeli ve büyüme potansiyeli yüksek hisse senetleri, bu yatırımcılar için cazip olabilir. Ancak bu tür yatırımlar, daha yüksek kayıp olasılıklarını da beraberinde getirebilir [55].



Şekil 2.2. Yatırımcı Türleri ve Risk – Getiri İlişkisi

Şekil 2.2.' de görüldüğü gibi, riskten kaçınan yatırımcıların kazanç serveti arttıkça bu artışın sağladığı fayda giderek daha az oranda artmaktadır. Risk algısı ve yatırım davranışları, yatırımcıların gelirleri, yaşları, meslekleri ve kişisel özellikleri gibi birçok faktörden etkilenir. Portföy kuramı açısından önemli olan, yatırımcıların belirli bir risk seviyesinde en yüksek getiriyi, belirli bir getiri seviyesinde ise en düşük riski hedeflemesidir. Bununla birlikte, riske karşı kayıtsız olan yatırımcılar için fayda fonksiyonu doğrusal bir seyir izlerken, risk seven yatırımcılar daha yüksek riskler alarak yüksek getiri arayışına yöneldiğini söylemek mümkündür.

Risk-getiri ilişkisi, yatırımcıların yatırım kararlarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, gelir seviyesi düşük ve kısa vadede gelir elde etme ihtiyacı olan bir yatırımcı, genellikle düşük riskli ve sabit getirili portföylere yönelir. Buna karşın, uzun vadeli yatırım yapabilecek ve finansal esnekliği olan bir yatırımcı, büyüme potansiyeli olan hisse senetlerine veya daha riskli yatırım araçlarına yatırım yapabilir [50].

Bu durum, yatırımcıların portföy seçiminde rasyonel bir şekilde hareket ettiklerini ve belirli risk seviyelerinde en yüksek getiriyi hedeflediklerini göstermektedir. Portföy kuramı, yatırımcıların belirli bir getiri düzeyinde riski minimize etmeye ya da belirli bir risk düzeyinde getiriyi maksimize etmeye çalıştığını varsayar [66].

Risk ve getiri arasındaki ilişki, yalnızca yatırım araçlarının seçimini değil, aynı zamanda yatırımcıların risk algılarına dayalı stratejik kararlarını da şekillendirir. Yatırımcıların risk toleranslarının ve yatırım hedeflerinin doğru analiz edilmesi, başarılı bir portföy yönetimi için kritik bir öneme sahiptir.

2.2. Portföy Çeşitleri

Portföyler, yatırımcıların finansal hedefleri, risk toleransları ve getiri beklentileri doğrultusunda çeşitli şekillerde oluşturulabilir. Geleneksel menkul kıymetler bağlamında portföyler, tamamen tahvillerden oluşan portföyler, yalnızca hisse senetlerini içeren portföyler ve hisse senetleri ile tahvillerin birlikte yer aldığı karma portföyler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bununla birlikte, hisse senedi ve tahvil dışında kalan çeşitli yatırım araçları ile portföy oluşturmak da mümkündür. Yatırımcıların portföy çeşitlendirme süreçleri, risk-getiri dengesine ve piyasa koşullarına göre şekillenmektedir. Yatırımcıların bireysel tercihleri ve piyasa dinamiklerine duyarlılıkları da bu çeşitlendirme sürecinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu portföy türleri, çeşitli yatırımcı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Yatırımcıların finansal hedeflerini gerçekleştirebilmek ve risk toleranslarına uygun stratejiler geliştirebilmek adına farklı portföy çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bu portföy türlerinin her biri, yatırımcıların spesifik ihtiyaçlarına yanıt verebilmek için benzersiz özellikler taşır. Aşağıda, bu portföy çeşitlerinin detaylı bir incelemesi yer almaktadır.

Tamamı tahvillerden oluşan portföyler, genellikle anapara güvenliğini önceliklendiren, risk almayı tercih etmeyen ve piyasayı yakından takip etme zorluğu yaşayan yatırımcılar tarafından tercih edilmektedir. Tahviller, sabit getirili menkul kıymetler olup yatırımcılara düşük risk sunarken, sağladığı getiri sınırlıdır [67]. Bu tür portföylerde, farklı şirket ve devlet tahvilleri bir araya getirilerek vadelerin çeşitlendirilmesi yoluyla risk azaltılabilir.

Ekonominin durgun olduğu dönemlerde bu tür portföyler güvenli bir yatırım aracı olarak öne çıkmaktadır [50]. Ancak, düşük getiri oranları, uzun vadeli yatırım yapanlar için fırsat maliyetlerini artırabilmektedir. Bu portföylerin özellikle ekonomik kriz dönemlerinde yatırımcılar için bir sığınak niteliğı taşıdığı da belirtilmelidir.

Buna karşılık, hisse senetlerinden oluşan portföyler ise yatırımcılara ortaklık hakkı tanıyan ve yüksek risk içermesine rağmen sağladığı yüksek getiri fırsatlarıyla dikkat çeken bir portföy türüdür [67]. Bu portföylerde, yatırımcının piyasa hareketlerini yakından takip etmesi ve gerektiğinde hızlı alım-satım yapabilmesi önemlidir. Özellikle ekonominin istikrarlı olduğu dönemlerde bu tür portföyler başarıyla uygulanabilir [68]. Bunun yanı sıra, hisse senetlerinden oluşan portföylerde sektörler arası çeşitlendirme, piyasa oynaklığına karşı dayanıklılığı artırarak yatırımcılara avantaj sağlayabilmektedir. Hisse senedi yatırımlarında uzun vadeli bir yaklaşım benimsemek, yatırımcıların portföy performanslarını artırabilmesi açısından büyük önem taşır.

Ekonominin içinde bulunduğu koşullara bağlı olarak, hisse senedi ve tahvil oranları zaman içinde yeniden dengelenebilir. Ekonominin durgun olduğu dönemlerde tahvil piyasasında, canlı olduğu dönemlerde ise hisse senedi piyasasında hareketlilik yaşandığı gözlemlenmektedir [68]. Bu portföylerin başarısı, yatırımcının piyasa eğilimlerini doğru yorumlaması ve ekonomik göstergelere uygun şekilde portföy bileşenlerini yeniden dengelemesi ile doğrudan ilişkilidir [68].

Sonuç olarak, portföy çeşitleri, yatırımcıların risk-getiri dengesi çerçevesinde finansal hedeflerine ulaşmalarına olanak tanıyan stratejik araçlardır. Her bir portföy türü, farklı yatırımcı profillerinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış olup, piyasa koşullarına uyum sağlama kapasitesine sahiptir.

2.3. Portföy Yönetimi ve Analiz Teknikleri

Portföy yönetimi, zamanla değışen ekonomik koşullara bağlı olarak portföylerin alınıp satılmasını ve bu doğrultuda portföylerde düzenlemeler yapılmasını içeren bir süreçtir. Değişen koşullara adapte olabilmek amacıyla portföydeki varlıkların ağırlıklarının yeniden düzenlenmesi, bu sürecin temelini oluşturur. Bu süreçte fon sahiplerinin tercihlerine göre, üstlenilen risk karşılığında maksimum getiriyi elde edecek varlık gruplarına yatırım yapılması hedeflenir. Ayrıca, zaman içinde varlıkların performanslarının değerlendirilmesi ve gerektiğinde portföyün yeniden yapılandırılması önem taşır [66], [69].

Portföy yönetiminin temel amacı, yatırım kararlarının risk ve getiriye olan duyarlılığını dikkate alarak portföyde yer alacak varlıkların oranlarını belirlemek ve ekonomik

koşullardaki değişikliklere göre gerekli ayarlamaları yapmaktır. Bu bağlamda, portföy yönetimi, risk ve getiri arasındaki dengeyi kurarak yatırım araçlarını seçme sürecini yönlendirir. Yatırımcıların getiriler hakkında genellikle daha fazla bilgi sahibi olmalarına rağmen, risk kavramı konusunda yeterli bilgiye sahip olmamaları, bu süreçte dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur [70].

Portföy yönetiminin önemli bir unsuru olan risk ve getiri arasındaki ilişki, yatırımcıların bilinçli kararlar alabilmesi için kritik bir rol oynar. Risk türleri ve toplam riskin kaynaklarının detaylı bir şekilde açıklanması, yatırımcıların daha iyi stratejiler geliştirmesini sağlar. Bu bilgiler ışığında, yatırımcılar hem getiriye maksimize etmek hem de riski kontrol etmek için portföylerini daha etkin bir şekilde yönetebilir [66].

2.3.1. Temel Analiz ve Teknik Analiz

Hisse senetlerinin değerlemesinde kullanılan en kapsamlı yöntemlerden biri temel analizdir. Bu yöntem, hisse senetlerinin incelenen dönemde olması gereken değerlerini hesaplamayı ve bu değerleri aynı dönemdeki piyasa fiyatlarıyla karşılaştırarak yatırım yapılacak senetleri belirlemeyi amaçlar [71].

Temel analiz, hisse senetlerinin ait olduğu şirketlerin finansal durumlarını ve bilançolarını değerlendirirken, makroekonomik ve sektörel dinamikleri de göz önünde bulundurur. Bu süreçte, hisse senetlerinin gerçek değerlerini belirlemek için ülke ekonomisinin genel durumu, para politikaları, sektörel durum, pazar payları, gelir tabloları ve bilançolar detaylı bir şekilde incelenir. Şirket bilançoları, bir firmanın varlıklarını, borçlarını ve öz sermayesini ayrıntılı şekilde göstererek, mali durumunu muhasebe kayıtlarına göre ortaya koyan tablolardır [52], [70].

Temel analiz yöntemi kapsamında en sık kullanılan tekniklerden biri Ekonomi-Endüstri-Ortaklık analizidir. Bu yöntem, üç aşamalı bir inceleme sürecinden oluşur. İlk aşamada, ülke ekonomisinin genel durumu değerlendirilir. Faiz oranları, döviz kuru hareketleri, enflasyon oranları, kamu harcamaları ve dış ticaret dengesi gibi makroekonomik göstergeler bu aşamada incelenir. Örneğin, faiz oranlarının yüksek olduğu bir ekonomik ortamda şirketlerin borçlanma maliyetleri artabilir ve bu durum kârlılığını olumsuz etkileyebilir. Ekonomi analizinde dikkate alınması gereken göstergeler arasında faiz oranları (örneğin, faiz ödemelerinin bütçe gelirine oranı), para arzı (emisyon hacmi), enflasyon oranları, dış ticaret açıkları, ödemeler dengesi açıkları, kamu harcamaları, merkez bankası politikaları ve ülkenin para politikalarına ilişkin siyasi kararlar yer almaktadır [72].

Ekonomi analizinin ardından, yatırım yapılacak sektörlerin genel durumu endüstri analiziyle değerlendirilir. Sektörel büyüme potansiyeli, rekabet yoğunluğu ve teknolojik gelişmeler gibi unsurlar göz önünde bulundurulur. Sektörlerin ekonomik dalgalanmalardan nasıl etkilendiği, hangi sektörlerin avantajlı olduğu analiz edilerek yatırım yapılacak sektörler belirlenir.

Son aşamada, seçilen sektördeki şirketlerin detaylı analizi yapılır. Şirket analizi, firmanın bilanço ve gelir tablolarını temel alır. Şirketlerin pazar payları, sektördeki konumları ve büyüme potansiyelleri açısından detaylı bir şekilde incelenir. Firmanın sektördeki mevcut durumu, rakipleriyle olan karşılaştırmaları ve pazar içerisindeki etkisi değerlendirilir. Bununla birlikte, şirketin rekabet gücü, sektördeki avantajlı konumu ve diğer firmalara karşı üstünlük sağlayan stratejik faktörleri analiz edilir. Şirketin geçmiş dönem kârlılık performansı, gelecekteki büyüme potansiyeline ışık tutacak şekilde değerlendirilir ve bu kârlılığın sürdürülebilirliği önemli bir kriter olarak ele alınır. Ayrıca, şirketin ürettiği ürün veya hizmetlerin maliyet yapısı detaylı bir şekilde analiz edilerek, maliyet avantajlarının sektördeki rekabet ortamında nasıl bir etki yarattığı incelenir. Şirketin sermaye yapısının güçlü olup olmadığı ve öz sermaye oranlarının yeterliliği, finansal istikrar açısından değerlendirilir. Son olarak, şirketin sahip olduğu patentler ve imtiyazlar, bu fikri mülkiyet haklarının rekabet avantajı yaratmadaki rolü göz önünde bulundurularak analiz edilmektedir.

Bunlara ek olarak, bilanço kalemleri arasındaki ilişkiler incelenerek oran analizleri yapılır. Bu analizde, şirketlerin mali tablolarındaki oranlar hesaplanır ve sektör içerisindeki diğer firmalarla karşılaştırılır. En sık kullanılan oranlardan bazıları Fiyat-Kazanç Oranı, Piyasa Değeri-Defter Değeri Oranı, Cari Oran ve Borçluluk Oranıdır. Fiyat-Kazanç Oranı, bir hisse senedinin fiyatının şirketin hisse başına düşen kârına oranını ifade ederken, Piyasa Değeri-Defter Değeri Oranı, hisse senedinin piyasa fiyatının defter değerine oranını gösterir. Cari Oran, şirketin kısa vadeli yükümlülüklerini karşılama kapasitesini ölçerken, Borçluluk Oranı ise şirketin toplam borçlarının öz sermayesine oranını belirtmektedir [51].

Bu yöntemlerle yapılan temel analiz, hisse senetlerinin değerinin doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlar ve bilinçli yatırım kararlarının alınmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Temel analiz, yatırımcıların hisse senetlerinin gerçek değerlerini anlamalarına yardımcı olurken, teknik analiz farklı bir perspektiften hareket etmektedir. Teknik analiz, hisse senetlerinin geçmiş fiyat hareketlerini ve işlem hacmini inceleyerek gelecekteki olası fiyat eğilimlerini tahmin etmeyi hedeflemektedir.

Teknik analiz, geçmiş fiyat hareketlerini temel alarak hisse senetlerinin gelecekteki fiyat seviyelerini tahmin etmeye çalışan bir yöntemdir. Piyasa fiyatlarının arz ve talep dengesiyle şekillendiğini öne süren teorilere dayanır. Bu teorilere göre, fiyatları etkileyen birçok faktör bulunur ve bu faktörler hem rasyonel hem de irrasyonel olabilir. Piyasa fiyatlarının kısa vadeli dalgalanmalar göstermesi doğal kabul edilse de uzun vadede belirli trendler izlediği varsayılır. Arz ve talepte yaşanan değişimler ise zamanla piyasa fiyatlarının genel eğiliminde kaymalara neden olabilir [71].

Teknik analizde, piyasanın görünmeyen psikolojik unsurlarını değerlendirme ve kazanç beklentilerini öngörme hedeflenir. Bu yöntemde kullanılan göstergeler, genellikle istatistiksel hesaplamalara dayanır. Hareketli ortalamalar, medyan fiyat, standart sapma ve korelasyon katsayısı gibi göstergeler, teknik analizde sıkça kullanılan araçlardır. Geçmiş fiyat hareketlerinden yola çıkarak cari fiyatın hangi seviyelerde oluşabileceği, grafikler ve göstergelerin değerleri karşılaştırılarak tahmin edilmeye çalışılır. Ancak teknik analiz, bilimsel bir yöntem olarak kabul edilmemekle birlikte, yatırım kararlarında piyasa dinamiklerini anlamaya yönelik değerli bilgiler sunar.

Portföy yönetiminde ise iki temel yaklaşım vardır: Menkul kıymetlerin çeşitlendirilmesine dayanan geleneksel portföy yaklaşımı ve daha matematiksel bir temele sahip olan modern portföy yaklaşımı. Her iki yaklaşımın da temel amacı, riski minimize ederken getiriye maksimize ederek optimal portföyler oluşturmaktır [72].

2.3.2. Geleneksel ve Modern Portföy Kuramları

Geleneksel portföy kuramı, yatırımcılara maksimum faydayı sağlamayı hedefler. Bu yaklaşım, tüketicilerin maksimum faydayı elde edecek mal ve hizmetleri nasıl seçtiklerini temel alarak, yatırımcıların da risk ve getiriye ilişkin fayda tercihlerini maksimum yapan bir portföyü seçebileceklerini varsayar. Diğer bir ifadeyle, yatırımcılar belirli bir risk düzeyinde en yüksek faydayı sağlamayı amaçlarlar [65].

Bu kuram, portföyde çeşitlendirmeye büyük önem verir. Portföyü oluşturan menkul kıymetler arasında ilişkilendirme ayrıntılı olarak ele alınmaz ve seçim sürecinde sayısal verilere detaylı bir şekilde yer verilmez. Bunun yerine, riskin dağıtılması temel amaçtır. Portföydeki menkul kıymetlerin getirilerinin aynı yönde hareket etmeyeceği varsayımıyla, portföy riskinin tek bir menkul kıymetin riskinden daha düşük olacağı kabul edilir. Bu nedenle, geleneksel portföy kuramı, portföydeki menkul kıymetlerin çeşitlendirilmesine dayanan bir yaklaşımı benimser [63].

Geleneksel portföy kuramı, bir portföyün kazancını, portföyde yer alan finansal varlıkların dönem içerisinde sağladığı temettüler ve değer artışları üzerinden tanımlar. Bu yaklaşımda, yatırımcıların gelecekteki varlık getirilerini tahmin etmeleri ve bu tahminlere dayalı risk unsurlarını değerlendirmeleri önemlidir. Portföy yönetiminin ana amacı, riskin farklı varlıklara dağıtılarak minimize edilmesidir. Portföyde yer alan varlık getirilerinin birbirinden bağımsız hareket edebileceği varsayımıyla, portföy riskinin tek bir varlığın taşıdığı riskten daha düşük olduğu öngörülür. Bu nedenle, geleneksel yaklaşım, portföydeki varlık çeşitliliğini artırmaya odaklanır. Bu durum, genellikle "tüm yumurtaları tek bir sepete koymamak" anlayışıyla ifade edilmektedir.

Geleneksel portföy analizinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri aşırı çeşitlendirme problemidir. Aşırı çeşitlendirme, portföy yönetimi sürecinde birtakım önemli sakıncaları beraberinde getirebilir [51]. Öncelikle, çok sayıda menkul kıymetten oluşan bir portföyü yönetmek oldukça karmaşık hale gelir ve bu durum, araştırma ve analiz maliyetlerini artırır. Ayrıca, satın alınan menkul kıymetlerin taşıdığı riskler dikkate alındığında, beklenen getiri düzeyinin karşılanamaması gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bununla birlikte, portföydeki menkul kıymetlerin sayısının artması, komisyon giderlerinin yükselmesine neden olarak yatırımcı için ek bir mali yük oluşturabilir.

1950’li yıllara kadar, menkul kıymet getirileri arasındaki ilişkileri ve nicel verileri yeterince dikkate almayan geleneksel portföy yaklaşımı, bu dönemde önemli bir değişim sürecine girmiştir [51]. Geleneksel yaklaşıma duyulan eleştirilerin ardından, matematiksel ve istatistiksel yöntemlere dayanan "Modern Portföy Kuramı" geliştirilmiş ve hızla yaygınlık kazanmıştır. Bu yeni yaklaşım, yatırım kararlarında daha analitik bir çerçeve sunarak, portföylerin daha etkin bir şekilde yönetilmesini mümkün kılmıştır.

Geleneksel portföy kuramı, riski çeşitlendirme yoluyla azaltmayı esas alırken, menkul kıymetler arasındaki ilişkileri dikkate almamıştır. Ancak, yatırım dünyasında artan karmaşıklık ve analiz gereklilikleri, portföy yönetiminde daha kapsamlı yaklaşımlara olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu noktada, modern portföy kuramı devreye girerek matematiksel ve istatistiksel temellere dayalı yeni bir anlayış sunmuştur.

Modern portföy teorisi, 1950’li yıllarda Harry M. Markowitz’ in çalışmalarıyla şekillenmiş ve finans dünyasında devrim niteliğinde bir yaklaşım getirmiştir. Markowitz, 1952 yılında yayımladığı “Portfolio Selection” adlı makalesi ile modern portföy teorisinin temellerini atmıştır. Bu teori, yalın çeşitlendirme ile riskin azaltılamayacağını öne sürer ve portföydeki varlıkların doğrusal ya da ters yönlü ilişkilerinin dikkate alınmasını önerir. Markowitz, portföy riskinin, portföyü oluşturan varlıkların risklerinden daha az

olabileceğini ve sistematik olmayan riskin çeşitlendirme ile sıfıra indirilebileceğini göstermiştir [1].

Modern portföy yaklaşımının temelinde, yatırımcıların yalnızca beklenen getiri ve risk unsurlarını dikkate alarak karar vermeleri yatar. Rasyonel yatırımcıların belirli bir risk düzeyinde maksimum getiriyi, belirli bir getiri düzeyinde ise minimum riski tercih edeceği varsayılır. Her yatırım seçeneği, belirli bir elde tutma dönemindeki beklenen getirilerin olasılık dağılımı ile ifade edilir. Ayrıca, etkin portföylerin oluşturulması için menkul kıymetlerin getirileri, varyansları ve getiriler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi gereklidir. Bu yaklaşıma göre, menkul kıymetlerin halka arzında herhangi bir kısıtlama yoktur ve yatırımcılar borsada istedikleri kadar hisse senedi alabilme özgürlüğüne sahiptir [73].

Markowitz' in öncülüğünde geliştirilen bu teorinin temel amacı, yatırımcıların risk düzeylerini minimize ederken beklenen getiriyi maksimuma çıkarmalarını sağlamaktır.

Modern portföy teorisi şu varsayımlara dayanır [73]:

1. Yatırımcılar yalnızca beklenen getiri ve risk unsurlarını dikkate alarak karar verirler.
2. Rasyonel yatırımcılar, belirli bir risk düzeyinde maksimum getiriyi veya belirli bir getiri düzeyinde minimum riski tercih ederler.
3. Tüm yatırım seçenekleri, beklenen getirilerin olasılık dağılımı ile ifade edilir.
4. Etkin portföyler, menkul kıymetlerin beklenen getirileri, varyansları ve aralarındaki ilişkiler analiz edilerek oluşturulabilir.
5. Menkul kıymetlerin halka arzında herhangi bir kısıtlama yoktur; yatırımcılar borsada istedikleri kadar hisse senedi alabilirler.

Modern portföy teorisi, yatırımcıların portföy oluşturma süreçlerinde daha rasyonel ve matematiksel yöntemlere dayalı kararlar almalarına olanak sağlayan temel varsayımlar üzerine inşa edilmiştir. Bu yaklaşım, finansal piyasalarda risk yönetimi ve yatırım stratejilerinin geliştirilmesinde de kritik bir etkiye sahiptir.

Markowitz'in "Portfolio Selection" adlı çalışmasıyla başlayan bu süreç, sermaye piyasalarında matematiksel ve istatistiksel yöntemlere dayalı bir anlayışa geçişi tetikleyerek geleneksel portföy teorisinin yerini almış ve modern portföy kuramı olarak günümüzdeki önemini korumuştur [74].

Bu teorinin kurucusu olarak kabul edilen Harry Markowitz, 1959 yılında yayımladığı çalışmada, çok sayıda menkul kıymet içeren portföylerin analizi üzerinde durmuş ve bireysel menkul kıymetlerin seçimi yerine, portföy oluşturma sürecine odaklanmıştır. Markowitz, portföy oluşturma problemine, varlıkların ortalama getirisi ve varyansına dayalı bir seçim problemi olarak yaklaşmıştır [75].

Markowitz' in geliştirdiği Ortalama-Varyans Modeli, yatırım kararlarında bir yöntem olarak benimsenmiştir. Bu modelde, portföy seçiminde ortalama ve varyans temel kriterler olarak kabul edilir. Modelin temel amacı, riskin minimize edildiği ve getirinin optimize edildiği bir portföy oluşturmaadır. Bununla birlikte, Markowitz Modeli' ne göre yatırımcı, hedeflenen getiri düzeyine ulaşmak için yatırım tutarını, çeşitli finansal varlıklar arasında dağıtmak durumundadır. Markowitz' in 1952 yılında gerçekleştirdiği araştırma, aynı risk düzeyinde farklı getiri seçeneklerine sahip portföyler arasından yatırımcıların daha yüksek getiriye sahip olanları tercih ettiğini ortaya koymuştur. Aynı şekilde, aynı getiri düzeyinde farklı risk seviyelerine sahip portföyler arasında ise daha düşük risk taşıyan portföylerin tercih edildiği gözlemlenmiştir [76].

Markowitz' in teorisinde dikkat çekilen bir diğer önemli unsur ise, menkul kıymet getirileri arasındaki ilişkidir. Bu teori, yalnızca menkul kıymetlerin kendi özelliklerine dayanarak seçilmesinin yeterli olmadığını vurgulamaktadır. Yatırımcıların, menkul kıymetlerin birbirleriyle olan karşılıklı hareketlerini de dikkate almaları gerektiği belirtilmektedir. Çoğu ekonomik veri gibi, menkul kıymet getirilerinin de birlikte artma veya azalma eğiliminde olduğu ifade edilmektedir. Ancak, bu korelasyon mükemmel değildir. Eğer menkul kıymet getirileri arasında ilişki bulunmuyorsa, çeşitlendirme yoluyla riskin azaltılması mümkündür. Ancak tüm menkul kıymetlerin getirilerinin tam bir uyum içinde artıp azaldığı durumlarda, çeşitlendirme riski elimine etmek için etkili bir çözüm sunmamaktadır [2].

Portföyde yer alan her bir menkul kıymetin beklenen getirisi ile portföydeki ağırlığı çarpılarak portföyün toplam beklenen getirisi hesaplanır. Bu durumda, portföyün beklenen getirisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$E(R_p) = \sum_{j=1}^n E[R_j]x_j \quad (2.1)$$

Burada;

$E(R_p)$: Markowitz' in portföyün beklenen getirisi tanımlaması

$E[R_j]$: Markowitz' in j . hisse senedinin beklenen getirisi tanımlaması

x_j : j . Hisse senedine ait yatırım payı

R_j : Portföyde yer alan j . Hisse senedinin getiri oranını ifade eden rassal değişken

Markowitz, yatırımcıların portföy getirilerini maksimize ederken riski minimize etmeyi hedeflediklerini vurgulamıştır. Bu çerçevede, portföy riskini ölçmek için standart sapmayı bir ölçüt olarak benimsemiş ve portföy optimizasyon problemini kuadratik programlama problemi olarak formüle etmiştir. Portföydeki getirilerin standart sapması şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma(x_1, \dots, x_n) = \sqrt{E \left[\left\{ \sum_{j=1}^n R_j x_j - E \left[\sum_{j=1}^n R_j x_j \right] \right\}^2 \right]} \quad (2.2)$$

Burada;

x_j : j . Hisse senedine ait yatırım payı

$\sigma(x_1, x_2, \dots, x_n)$: Portföyün standart sapması (toplam risk)

R_j : Portföyde yer alan j . Hisse senedinin getiri oranını ifade eden rassal değişken

Markowitz'in geliştirdiği ortalama-varyans modeli aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j \\ & \sum_{j=1}^n r_j x_j \geq \rho M_0 \\ & \sum_{j=1}^n x_j = M_0 \\ & 0 \leq x_j \leq u_j, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.3)$$

Burada;

σ_{ij} : Etkileşim halinde bulunan i . ve j . Hisse senetlerine ait kovaryansmatrisi

x_j : j . Hisse senedine ait yatırım payı

r_j : j . Hisse senedinin ortalama getiri oranı

ρ : beklenen getiri oranı

M_0 : Toplam yatırım miktarı

u_j : j . Hisse senedine yapılan yatırım miktarının üst sınırı

Bu modelde, amaç fonksiyonuna eşlik eden kısıtlar, portföyün beklenen getirinin belirli bir minimum seviyede olmasını, toplam yatırımın portföy ağırlıklarıyla eşleşmesini ve her bir menkul kıymete yapılan yatırımın belirlenen sınırlar içinde kalmasını sağlamaktadır.

Menkul kıymetlerin getiri oranlarını ifade eden R_j değişkenleri, normal dağılıma sahip rastgele değişkenler olarak kabul edilmektedir. Yatırımcılar, portföyde düşük standart sapma seviyesini tercih ederler ve yüksek standart sapma riskini azaltma eğilimindedirler; bu, yatırımcıların genel olarak riskten kaçınan bireyler olduklarını ortaya koymaktadır. Bu varsayımlar çerçevesinde, modelin finansal ekonomi alanında geçerliliğini koruduğu ve bu modele dayalı birçok önemli teoremin geliştirildiği ifade edilebilmektedir [7].

Markowitz modeli, yatırımcıların risk-getiri dengesini sağlamayı hedeflerken, geniş ölçekli portföylerde uygulama zorlukları nedeniyle sınırlı bir kullanım alanı bulmuştur. Japonya'daki bir güvenlik şirketi yöneticisi, 200'den fazla değişken içeren problemlerin nadiren çözümlendiğini ve değişken sayısı arttıkça modelin yeterli gelmediğini belirtmiştir [7].

Bu zorlukların en önemlilerinden biri hesaplama yüküdür. n adet menkul kıymetten oluşan herhangi bir portföy için n adet standart sapma, n adet beklenen getiri, $\frac{n(n+1)}{2}$ kovaryans değerinin hesaplanmasını gerektirir ki bu işlem, tarihsel verilere dayanmaktadır. Özellikle $n \geq 500$ durumunda, yoğun kuadratik programlama problemlerinin çözümü oldukça karmaşık hale gelmektedir [51].

İşlem maliyetleri ve yönetim giderleri de önemli engeller arasındadır. Büyük ölçekli bir portföyde, birçok varlık pozitif ağırlıklara sahip olur ve bu durum yatırımcıların küçük miktarlarda birçok hisse satın almasını gerektirir. Bu süreç hem yüksek işlem maliyetleri doğurur hem de pratikte yönetimi zorlaştırır. Ayrıca, tamsayı programlama yöntemleri kullanılarak yapılan yuvarlamalar, optimal çözümden uzaklaşmaya neden olabilir [7].

Konno ve Yamazaki (1991), Markowitz (1952) tarafından geliştirilen portföy optimizasyon modelinin uygulanabilirliği konusunda önemli bir eleştiride bulunmuşlardır. Onlara göre, Markowitz' in modeli kuadratik programlama gerektirmekte ve bu durum özellikle kovaryans matrislerinin hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle büyük ölçekli portföylere uygulanmasını karmaşık hale getirmektedir. Alternatif bir yaklaşım olarak, Konno ve Yamazaki, daha uygulanabilir bir çözüm sunan doğrusal programlama modelini önermiştir. Bu iki model, temel yapıları itibarıyla benzerlikler taşısa da risk fonksiyonu açısından belirgin şekilde farklılık göstermektedir.

Konno ve Yamazaki (1991), standart sapmanın risk ölçütü olarak kullanımına yönelik yatırımcılar arasında yaygın bir kabul bulunmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, standart sapma yerine, daha basit ve anlaşılır bir risk ölçütü olan ortalamadan mutlak sapmayı kullanmayı teklif etmişlerdir. Bu yaklaşım, hem yatırımcıların risk algısını daha iyi

yansıtmakta hem de hesaplama sürecini kolaylaştırmaktadır. Ortalamadan mutlak sapma, portföyün beklenen getirilerinin ortalama değerden ne kadar sapma gösterdiğini ölçerek, daha doğrudan ve uygulaması kolay bir risk değerlendirmesi sunmaktadır.

Konno-Yamazaki portföy optimizasyonu modeli, ortalama mutlak sapma temeline dayalı olarak Eşitlik 2.4-2.10 ile ifade edilmiştir. Getiri ve risk değerlerini nicel kesin değerler şeklinde ele alan bu model, geleneksel Konno-Yamazaki modeli (KM) olarak adlandırılır. Modelde kullanılan simgeler, parametreler ve karar değişkenleri ise Tablo 4.1.'de tanımlanmıştır.

Tablo 4.1. Konno-Yamazaki matematiksel modeline ait simge, parametre ve karar değişkenleri

<i>Simgeler</i>	
n	Hisse senedi sayısı
j	Hisse senedi indisi $j = 1, 2, \dots, n$
T	İncelenen dönem sayısı
t	T dönemi içerisinde herhangi bir dönem $t = 1, 2, \dots, T$
<i>Parametreler</i>	
r_{jt}	j . hisse senedinin t döneminde gerçekleşen getiri oranı
r_j	j . hisse senedinin ortalama getiri oranı
a_{jt}	j . hisse senedinin t . dönem ve T dönemdeki ortalama getirisi arasındaki farktır. $a_{jt} = r_{jt} - r_j \quad j = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T$
u_j	j . hisse senedine yapılan yatırım miktarının üst sınırı
μ_0	Toplam yatırım miktarı
ρ	Beklenen getiri oranı
ρM_0	Beklenen getiri miktarı
<i>Karar Değişkenleri</i>	
x_j	j . hisse senedine ait yatırım payı
y_t	Yardımcı değişken

KM yukarıdaki değişkenler yardımıyla aşağıdaki gibi modellenmiştir.

KM:

$$\text{Min } \sum_{t=1}^T y_t / T \quad (2.4)$$

Kısıtlar:

$$y_t - \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (2.5)$$

$$y_t + \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^n r_j x_j \geq \rho M_0 \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = M_0 \quad (2.8)$$

$$0 \leq x_j \leq u_j, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

$$y_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (2.10)$$

Modelin temel amacı, beklenen getiriden sapma olarak tanımlanan riski minimize etmektir. Bu doğrultuda kullanılan amaç fonksiyonu, yatırım portföyünün toplam riskini en aza indirmek için optimize edilmektedir. Model, doğrusal kısıtlar içermekte olup, özellikle mutlak değer içeren ifadeler üzerinde çalışmaktadır.

Birinci ve ikinci hisse senetlerinin getirilerinin ortalamadan mutlak sapmalarını minimize etmek amacıyla, $y_t - \sum_{j=1}^n |a_{jt}x_j| \geq 0$ eşitsizliği temel alınmıştır. Mutlak değer in açılımı sonucunda modelde birinci ve ikinci kısıtlar türetilmiştir.

Konno ve Yamazaki' nin modeline göre, etkinlik sınırının her bir noktasını belirlemek için modelin en fazla $2T+2$ kısıt içermesi gerekmektedir. Burada T , incelenen dönem sayısını ifade etmektedir. Amaç fonksiyonu ve birinci kısıttan elde edilen T kısıtlar yardımıyla, belirli bir beklenen getiri seviyesinde $a_{jt} = r_{jt} - r_j$ katsayısı pozitif olan hisse senetleri belirlenmektedir. Bu süreçte, en küçük katsayıya sahip hisse senetleri seçilir. İkinci kısıttan elde edilen T kısıtlarla ise, $a_{jt} = r_{jt} - r_j$ katsayısı sıfıra eşit ya da negatif olan hisse senetleri portföyden çıkarılır.

Üçüncü kısıt, portföyün ortalama getiri oranının beklenen getiriden büyük ya da buna eşit olması gerektiğini ifade ederken, dördüncü kısıt ise toplam yatırım miktarını sınırlar. Ayrıca, modelin çözüm teknikleri gereği x_j ve y_t karar değişkenlerinin sıfır veya sıfırdan büyük değerler alması zorunludur [53].

Bu yapı, belirli risk-getiri seviyelerine uygun portföylerin etkin bir şekilde seçilmesine olanak tanımakta ve yatırım kararlarının optimize edilmesine katkı sağlamaktadır.

Sermaye Varlıklarını Fiyatlama Modeli (CAPM), etkin piyasa varsayımına dayanarak menkul kıymet fiyatlarının tüm piyasa bilgisini yansıttığını ve beklenen getiri ile risk arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu belirtmektedir. Bu model, herhangi bir menkul kıymetin beklenen getirisinin, o menkul kıymetin sistematik riski ile pozitif bir ilişki içinde olduğunu öne sürmektedir. Ayrıca, menkul kıymetlerden beklenen risk priminin tüm piyasanın risk primiyle orantılı olması gerektiğini ifade etmektedir [77].

Bu model, riski sistematik ve sistematik olmayan olarak ikiye ayırarak, sistematik riskin toplam riske göre daha doğru bir ölçüt olduğunu savunmaktadır. CAPM, menkul kıymetlerin getirileri ile piyasa portföyünün getirileri arasındaki ilişkiyi beta katsayısı aracılığıyla açıklar. Bu katsayı, bir menkul kıymetin piyasa riskine duyarlılığını ölçmek için

kullanılır. Yüksek beta değerine sahip bir menkul kıymet, yüksek piyasa riskine işaret ederken, düşük beta değeri daha az risk anlamına gelir.

CAPM üzerine yapılan en önemli çalışmalardan biri Fama ve MacBeth (1973) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma, iki aşamalı bir yöntem kullanılarak CAPM denge modelinin ABD piyasalarındaki uygulanabilirliğini test etmiştir. Çalışma, modelin hem gelişmiş hem de gelişmekte olan piyasalardaki etkinliği değerlendirmek amacıyla genişletilmiştir. Bu çerçevede, CAPM, piyasalardaki etkinliğin değerlendirilmesi için önemli bir araç olarak kabul edilmiştir [77].

CAPM' nin temel varsayımlarından biri, menkul kıymetlerin fiyatlarının piyasa bilgisini eksiksiz yansıttığı ve bu nedenle piyasa etkinliğini koruduğudur. Bu model, sistematik riski ölçerek yatırımcılara beklenen getiri hesaplamalarında daha sağlıklı bir değerlendirme yapma imkânı sunmaktadır.

CAPM modeli, menkul kıymetlerin beklenen getirisini açıklayan matematiksel bir yapıya sahiptir. Modelin temel formülünde portföyün beklenen getirisini hesaplamak için; risksiz faiz oranı, portföyün sistematik riskini temsil eden beta katsayısı ve piyasa portföyünün beklenen getiri değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. CAPM modeli, bir menkul kıymetin beklenen getirisinin risksiz faiz oranına ek olarak, sistematik riskine de bağlı bir risk priminden oluştuğunu ifade etmektedir. β , bir menkul kıymetin piyasa ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu gösterir. Beta katsayısı 1'den büyük olan menkul kıymetler piyasa ortalamasına kıyasla daha yüksek risk taşırken, 1'den küçük olanlar daha düşük risk taşımaktadır.

Model, yatırımcıların menkul kıymet seçimlerinde daha bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olur ve bu doğrultuda risk-getiri dengesini sağlar. CAPM, özellikle portföy çeşitlendirme ve yatırım stratejilerinin geliştirilmesinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır [78].

2.4. Portföy Performansının Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Metrikler

Portföy performansının doğru ve etkin bir şekilde değerlendirilmesi, yatırım kararlarının başarısını ölçmek ve gelecekteki stratejileri optimize etmek adına kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, çeşitli metrikler ve yaklaşımlar, portföyün risk ve getiri performansını kapsamlı bir şekilde analiz etmek için kullanılmaktadır. Portföy performansını ölçmek için kullanılan metrikler, risk ve getiri arasındaki dengeyi daha iyi anlayabilmek adına geliştirilmiş çeşitli yöntemleri içerir. Bu metrikler arasında Sharpe oranı, Treynor oranı, Jensen' in alfa ölçütü ve bilgi oranı gibi risk ayarlı performans ölçütleri öne

çıkılmaktadır. Her bir metrik, farklı bir perspektiften portföyün performansını değerlendirmeye olanak tanıyarak yatırım kararlarının etkinliğini artırmayı hedeflemektedir.

Portföy yönetiminde başarının temel ölçütü, portföyün performansı olarak değerlendirilir. Ancak, portföy performansının ölçülmesi gerek akademik çevrelerde gerekse uygulamacılar arasında uzun süredir tartışmalı bir konu olmaya devam etmektedir. Portföy getirisi genellikle basit bir yüzde getiri hesabı ile değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, riski dikkate almaksızın yalnızca getiriyi temel alarak eşit risk düzeyine sahip portföylerin performanslarını karşılaştırmak için faydalı bir yöntemdir. Ancak, riski göz ardı etmesi nedeniyle bu yöntem yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Modern portföy yönetimi uygulamalarında Sharpe oranı, Treynor oranı ve Jensen'in alfa ölçütü gibi risk ayarlı metrikler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu metrikler, portföy getirilerinin, alınan risk düzeyine göre değerlendirilmesini sağlayarak daha kapsamlı bir analiz imkânı sunmaktadır.

Sharpe performans ölçüsü; bir portföyün toplam riskini dikkate alarak, risk başına sağlanan ek getiriyi değerlendiren bir performans göstergesidir. Bu yaklaşım, yatırımcıların risksiz faiz oranının üzerinde talep ettikleri ek getiriyi, portföyün toplam riskine kıyasla ölçer. Sharpe' a göre, bu indeks bir portföyün toplam risk başına ne kadar ek getiri sağladığını analiz eder ve özellikle iyi çeşitlendirilmiş portföyler için daha uygun bir yöntem olarak kabul edilir [79].

Sharpe performans ölçüsü şu formülle ifade edilir:

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n r_j x_j - R_f}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_t}} \quad (2.11)$$

Burada;

S : Sharpen oranı

r_j : j . Hisse senedinin ortalama getiri oranı

x_j : j . Hisse senedine ait yatırım payı

R_f : Risksiz getiri oranı

y_t : Yardımcı değişken

Bu formül, bir portföyün yatırımcılarına toplam risk başına ne kadar ek getiri sağladığını değerlendirmeye olanak tanımaktadır.

Bu ölçüt, portföylerin performansını karşılaştırırken, yalnızca risk primini değil, bu primi elde etmek için üstlenilen toplam riski de dikkate alır. Sharpe ölçüsü, portföy

yöneticilerinin toplam riski minimize ederken daha yüksek getiri sağlama kabiliyetlerini değerlendirmek için etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Treynor performans ölçüsü; piyasa riskini dikkate alarak portföy performansını değerlendiren ilk yaklaşımlardan biridir. Treynor, riskin iki kısımdan oluştuğunu belirtir: biri piyasa dalgalanmalarından, diğeri ise firmaya özgü risklerden kaynaklanır. Bu bağlamda, karakteristik doğru, bir finansal varlığın getirisi ile piyasa getirisi arasındaki ilişkiyi ifade ederken, doğrunun eğimi (β) portföyün piyasa riskine duyarlılığını gösterir.

Treynor ölçüsünde, risk karşılığı olarak beta, portföyün ortalama getirisi, risksiz faiz oranı kullanılır ve portföyün tam çeşitlendirildiği varsayılmaktadır.

Treynor performans ölçüsünün yüksek bir değere karşılık gelmesi, portföyün piyasa riski karşısında yüksek performans gösterdiğini işaret eder. Bu ölçü, portföyün risk primini, yani portföy getirisi ile risksiz faiz oranı arasındaki farkı analiz etmek için kullanılmaktadır [50].

Jensen performans ölçüsü; CAPM' ye dayanan bir yöntemdir ve risksiz faiz oranlarının zamana göre değişkenlik gösterebileceğini dikkate almasıyla diğer performans ölçülerinden ayrılır. Bu yaklaşım, bir portföyün beklenen getirisini, sistematik riski ve pazar portföyünün beklenen getirisi ile ilişkilendirir. Jensen performans ölçüsünün belirlenmesinde, risksiz faiz oranı, portföyün sistematik risk katsayısı, pazar portföyünün beklenen getirisi kullanılmaktadır. Risksiz faiz oranlarının ve beklenen getiri oranlarının dönemsel değişkenlik gösterebilmesi nedeniyle, bu ölçü zaman serileri üzerinden analiz yapılmasını gerektirmektedir [78].

3. BULANIK MANTIK

3.1. Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık mantığın temelleri, insan düşünce ve sezgilerinden ilham alarak gerçek dünyadaki karmaşıklık ve belirsizlikleri modellemeye yönelik bir sistem geliştirme ihtiyacından doğmuştur. Klasik mantığın “doğru” veya “yanlış” gibi keskin ve ikili kategorilerinden farklı olarak, bulanık mantık, belirsiz ve kesin olmayan durumları ele alır. Bu sistem, "kesin" olmayan koşulları modellemek için “doğru” ile “yanlış” arasındaki dereceleri kapsar ve bu yönüyle gerçek dünya sorunlarına daha uygun çözümler sunmaktadır [79].

Bulanık mantığın kökleri, Aristoteles’in “Var ya da Yok” yasalarına meydan okuyan düşüncelere kadar uzanır. Heraclitus, bir şeyin hem doğru hem de yanlış olabileceğini öne sürerken, Platon bu fikri bir adım ileriye taşıyarak “doğru” ve “yanlış”ın dışında, ikisinin iç içe geçtiği üçüncü bir durumun varlığından bahsetmiştir. Ancak modern anlamda bulanık mantığın temelleri, Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz tarafından 1920'lerde atılmıştır. Lukasiewicz, önermelerin yalnızca 0 (tamamen yanlış) ve 1 (tamamen doğru) değerlerini değil, bu iki uç arasında kalan kesirli değerleri de alabileceğini öne sürerek çok değerli mantık kavramını geliştirmiştir [80].

Lukasiewicz’in çalışmaları, L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında ileri taşınmış ve bu bağlamda “bulanık kümeler” kavramı geliştirilmiştir. Zadeh, klasik kümelerin ikili mantığından farklı olarak, bir elemanın bir kümenin üyeliğine belli bir derecede dahil olabileceği fikrini ortaya atmıştır. Bu yaklaşımla, Zadeh, klasik mantık sisteminden sonsuz değerli mantığa geçişi sağlamış ve bulanık mantığın matematiksel temelini pekiştirmiştir [80].

Zadeh’in bu teorik katkıları, yalnızca matematiksel temellerin güçlendirilmesiyle kalmamış, aynı zamanda bulanık mantığın pratik uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamıştır. Bu nedenle, bulanık mantık yaklaşımının hem güçlü yanları hem de sınırlamaları mevcuttur.

Bulanık mantık yaklaşımının avantajları:

- Bulanık mantığın en önemli avantajı dilsel, nümerik olamayan değişkenlerin kullanılması ve bunun insan düşünüş tarzına çok yakın olmasıdır.

- Matematiksel modele mutlaka ihtiyaç duyulmaz, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistem uygulamalarında oldukça başarılıdır.
- Klasik mantığa göre daha az miktarda değerler, kurallar ve kararlara ihtiyaç duyulur ve gözlemlenen değişken miktarı daha fazladır.
- Geleneksel kontrol sistemlerine göre daha hassas ve kararlı sistemler tasarlanmasına olanak sağlar.
- Çözüme daha basit ve hızlı şekilde ulaşabilir ayrıca tasarımılanması geleneksel kontrol sistemlerine göre daha kolaydır bu nedenle maliyeti düşüktür.

Bulanık mantık yaklaşımının dezavantajları:

- Bulanık mantık uygulamalarında muhakkak uzman görüşleri alınarak uzman deneyimlerine dayanan kuralların tanımlanması gerekir. Bu sebeple model oluşturmak her zaman kolay değildir.
- Üyelik fonksiyonu seçiminde kesinleşmiş bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. Fonksiyonun belirlenmesi ancak deneme yanılma yöntemi ile yapılabilir. Buda uzun zaman alabilir.
- Bulanık mantığın temel sorunlarından birisi sistemlerin gözlemlenmesi ve kontrolünün yapılmasında kesin bir yöntem olmayışıdır.
- Bulanık mantık yaklaşımında üyelik işlevlerinin değişkenleri deneme yoluyla ayarlandığından sisteme özeldir, farklı sistemlere uygulanmaz [81].

Bulanık kümeler, klasik kümelerden üyelik fonksiyonları aracılığıyla ayrılır. Klasik bir küme, yalnızca 0 ve 1 gibi keskin üyelik değerleriyle tanımlanabilirken, bulanık kümeler teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonuna sahip olabilir. Bu durum, klasik mantığın hızlı/yavaş gibi keskin kategorilerini, “biraz hızlı” veya “biraz yavaş” gibi yumuşak geçişlerle genişleten bir sistem kurma imkânı tanır [82]. Bu esneklik, bulanık mantığın gerçek dünyayı modellemede daha geniş bir uygulama alanı bulmasına olanak tanımıştır. İnsan sezgileri ve tecrübelerinden ilham alan bu sistem, sürekli değişen koşullara uygun denetim stratejileri geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır [83].

Bulanık mantığın felsefî kökenleri kadar, matematiksel temeli de önemlidir. Lukasiewicz ve Bernard Russell’in katkılarıyla, küme teorisine $[0,1]$ aralığındaki değerleri ekleyerek klasik mantığın ötesine geçilmiştir. Ünlü fizikçi Max Black’in çalışmaları da bu sürece katkıda bulunmuş ve bulanık kümelerin $[0,1]$ aralığındaki değerlerle tanımlanabileceği öne sürülmüştür [80].

Bulanık mantığın, klasik mantığın kesin sınırlarını aşarak gerçek dünyadaki belirsizliklere daha uygun bir modelleme sağlaması, onun birçok farklı alanda kullanılmasına olanak tanımıştır. Bu sistem, belirsizliklerin yoğun olduğu mühendislik, ekonomi, yapay zeka ve sosyal bilimler gibi alanlarda geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. Gerçek dünyada, “her an değişebilen durumlar” ın daha iyi analiz edilmesine yardımcı olan bulanık mantık, matematiğin günlük hayattaki problemlere uygulanabilirliğini artırmıştır [83].

Sonuç olarak, bulanık mantık, insan düşüncesinin sezgisel doğasını matematiksel bir çerçeveye oturtarak, belirsiz ve karmaşık durumların modellemesinde önemli bir paradigma sunar. Hem tarihsel hem de teorik temelleriyle klasik mantığın sınırlarını aşan bu yaklaşım, gerçek dünya sorunlarını çözmede vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

3.2. Bulanık Küme Kavramı

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin kesin ve katı sınırlarını genişleterek, elemanların üyelik derecelerini belirli bir esneklikle tanımlayan bir matematiksel yaklaşımdır. Klasik küme teorisinde bir eleman bir kümenin ya tamamen üyesidir (1) ya da tamamen dışındadır (0) [84]. Ancak, bu katı sınırlandırma, gerçek dünyadaki belirsiz durumları modellemekte yetersiz kalır. Bu noktada, bulanık küme teorisi, elemanların $[0,1]$ aralığında herhangi bir değerle üyelik derecesine sahip olmasını sağlayarak, bu sınırlamayı aşmaktadır.

Klasik küme teorisi, elemanların aitlik durumlarını keskin sınırlarla tanımlar; bir eleman ya tamamen kümenin üyesidir ya da değildir. Bu durum, birçok gerçek dünya problemini modellemede yetersiz kalır, çünkü çoğu zaman bir nesne bir kategoriye kısmen dahil olabilir. Bulanık küme teorisi, bu katı sınırları aşarak, elemanların bir kümeye aitlik derecesini $[0,1]$ aralığında bir değerle ifade etmektedir. Bu esneklik, dilsel ve sezgisel ifadelerin matematiksel olarak temsil edilmesine olanak tanıyarak, klasik kümelere kıyasla daha geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır [85].

Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen bulanık küme teorisi, klasik küme tanımını genişleterek insan düşüncesine ve sezgilerine dayalı belirsiz durumların matematiksel olarak modellenmesine olanak tanımıştır [86]. Bulanık bir kümede, nesneler ya kümenin üyesidir ya da değildir gibi katı bir sınıflandırma yerine, nesnelerin bir dereceye kadar kümenin üyesi olabileceği fikri benimsenir. Burada “0” kümenin elemanı olmayanları, “1” kümeye tam üye olanları, 0 ile 1 arasındaki tüm ara değerler ise kısmi üyelikleri ifade

eder [85]. Bu esneklik, klasik kümelerle kıyasla daha yumuşak geçişler sağlayarak gerçek dünya problemlerini çözmede önemli avantajlar sunar.

Bulanık küme teorisi, karakteristik fonksiyon kavramını genişleterek üyelik fonksiyonlarıyla çalışır. Klasik kümelerde bir elemanın üyeliği 0 veya 1 gibi kesin değerlerle tanımlanırken, bulanık kümelerde üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığında bir sürekli değer alabilir [84]. Bu durum, özellikle kesin ve net bir şekilde tanımlanamayan veya dilsel ifadelerle açıklanan durumların modellenmesinde büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Bu teorenin bir diğer önemli özelliği, belirsizlik ve bulanıklık durumlarını ele alma kabiliyetidir. Rastgelelik (aleatorik belirsizlik) ve bulanıklık (epistemik belirsizlik) gibi iki ana belirsizlik kaynağıyla ilgilenen bulanık küme teorisi, farklı yaklaşımlarla bu durumların üstesinden gelir. Rastgelelik, olayların olasılıklar üzerinden açıklanmasını içerirken, bulanıklık daha çok bilgi eksikliğinden veya öznel yorumlardan kaynaklanır. Olasılık teorisi, genellikle objektif özelliklere dayanırken, bulanık mantık dilsel ifadeler ve öznel değerlendirmelere odaklanır. Bu tamamlayıcı rol, gerçek dünyadaki belirsizliklerin yönetiminde önemli bir avantaj sağlar [85].

Ayrıca, bulanık küme teorisi, çok kriterli karar verme süreçlerinde ve belirsiz koşullar altında birden fazla olasılığı aynı anda değerlendirme yeteneği sunar. Örneğin, bir sistemin “tatmin edici” olup olmadığını değerlendirmek için yalnızca kesin bir yanıt aramak yerine, tatmin edici olma derecesi belirlenebilir. Bu bağlamda, insan sezgilerine dayalı değerlendirmeler, matematiksel bir modele dönüştürülerek karar verme süreçlerine entegre edilebilir [85].

Sonuç olarak, bulanık küme teorisi, gerçek dünyadaki karmaşık durumların modellenmesinde ve belirsizliğin yönetilmesinde etkili bir araç olduğunu söylemek mümkündür.

3.2.1. Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin keskin sınırlarını esneterek elemanların üyelik derecelerini daha esnek bir şekilde tanımlayan bir matematiksel yöntem sunar. Geleneksel küme teorisinde, bir X kümesinde yer alan A alt kümesi, μ_A karakteristik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Bu fonksiyon, X kümesindeki her bir elemanın yalnızca iki durumu temsil eden bir küme olan $\{0,1\}$ içinde değerlendirilmesini sağlar. Başka bir ifadeyle, bir eleman ya tamamen kümenin bir üyesidir (1) ya da değildir (0). Bu klasik yaklaşım, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_A(x) : X \rightarrow \{0,1\}$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

Ancak, klasik küme teorisinin bu katı çerçevesi, gerçek dünyada karşılaşılan belirsizlikleri ve kısmi üyelik durumlarını açıklamakta yetersiz kalır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, X evrensel kümesinin elemanlarının üyelik derecelerinin $[0,1]$ aralığında tanımlandığı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde, bir elemanın bir kümeye ait olma durumu tam kesinlik yerine, belirli bir derece ile ifade edilir ve bu şekilde tanımlanan kümeler bulanık küme olarak adlandırılır. Bu yöntem, belirsizliklerin ve kısmi üyeliklerin daha doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır.

X evrensel kümesi üzerinde tanımlanan bir A bulanık kümesi, X uzayından birim aralığa bir dönüşüm olan μ_A üyelik fonksiyonuyla tanımlanır [87]:

Bu ifade, her bir eleman x için bir üyelik derecesi $\mu_A(x)$ tanımlar ve bulanık küme şu şekilde gösterilir:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (3.1)$$

Bu formülasyonda, her bir $(x, \mu_A(x))$ çiftine "bulanık teklik" adı verilir. Eğer X evrensel kümesi kesikli bir küme $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ise, bulanık küme şu şekilde ifade edilir:

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (3.2)$$

Kesikli olmayan bir X kümesi için ise bulanık küme aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$A = \int_X \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (3.3)$$

Bu matematiksel ifadeler, bulanık küme teorisinin temellerini formel olarak açıklayarak klasik küme teorisinden farklılaşmasını ortaya koymaktadır. Örneğin, klasik küme teorisinde bir eleman yalnızca “tam üyedir” veya “hiç üye değildir”. Ancak bulanık küme teorisinde, bir eleman $[0,1]$ aralığında bir üyelik derecesine sahip olabilir ve bu, gerçek dünyadaki belirsizliklerin modellenmesini mümkün kılar [85], [88].

3.2.2. Bulanık Kümelerin Matematiksel Tanımları

Bulanık Destek Kümesi (The Support of Fuzzy Set): X evrensel kümesindeki bir A bulanık kümesinin dayanağı veya destek kümesi, A 'da sıfırdan büyük üyelik derecelerine sahip elemanların oluşturduğu keskin bir kümedir. Destek kümesi, bulanık kümenin yalnızca üyelik derecesi sıfır olmayan elemanlarını içerir ve şu şekilde tanımlanır: [88]

$$Supp A = \{x | \mu_A(x) > 0, x \in X\} \quad (3.4)$$

α - Kesim Kümesi (The α - Cut of a Fuzzy Set): Bir A bulanık kümesinin α -kesimi A_α bir keskin küme olup, bu kümenin elemanları X evrensel kümesine ait ve üyelik dereceleri α 'ya eşit veya daha büyük olan elemanlardan oluşur. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$A_\alpha = \{x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha\}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3.5)$$

α arttıkça, ona karşılık gelen α - kesim kümesi küçülür, çünkü daha yüksek üyelik derecelerini sağlayan eleman sayısı azalır. Buna karşılık, $\geq$ ile tanımlanan klasik kümeye ise zayıf α -kesim kümesi denir [84], [88]. Burada α , $(0,1]$ aralığında tanımlanan gerçek bir sayıdır ve $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonunun aldığı değerlerden biridir. α -kesimleri, üyelik fonksiyonunun tersini ifade eden bir yaklaşımla tanımlanabilir. Başka bir deyişle, bir α -kesimi, bir üyelik fonksiyonunun belirli bir α değeriyle ilişkili elemanları seçer ve bu elemanların oluşturduğu keskin kümeyi ifade eder [89]. Bir α -kesimi, üyelik derecesinin belirli bir eşik değere (α) göre nasıl sınırlandığını gösterirken, güçlü α -kesiminde yalnızca α' dan büyük değerler dikkate alınır. Bu durum, bir bulanık kümenin üyelik derecelerini kısıt değeri ya da amaç değeri olarak işaretleyerek, belirli bir elemanın ne kadar "uygun" olduğunu ölçmede kullanılır. A bulanık kümesinde, X evrensel kümesinin her bir elemanının üyelik derecesi, B bulanık kümesinin karşılık gelen elemanlarının üyelik derecelerinden küçük ya da onlara eşit ise, bu durumda A kümesi B kümesinin alt kümesi olarak adlandırılır [90].

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \rightarrow A \subseteq B, \forall x \in X \quad (3.6)$$

Bulanık Kümenin Yüksekliği ve Normallliği: Bir A bulanık kümesinin yüksekliği ($Hgt(A)$), üyelik fonksiyonunun $\mu_A(x)$ tarafından aldığı en büyük değer olarak tanımlanır. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir [91].

$$Hgt(A) = \sup[\mu_A(x)] = 1, \forall x \in X \quad (3.7)$$

Eğer bir A bulanık kümesinin herhangi bir elemanının üyelik derecesi 1'e eşit veya 1'den büyükse, bu küme normal bir küme olarak adlandırılır. Buna karşılık, yüksekliği 1'den küçük olan kümeler ise subnormal kümeler olarak bilinir. Bir subnormal küme, tüm elemanlarının üyelik dereceleri en yüksek üyelik değerine ($\sup[\mu_A(x)]$) bölünerek normalleştirilebilir. Eğer bir bulanık kümenin tüm elemanlarının üyelik derecesi sıfıra eşitse ($\mu_A(x) = 0, \forall x \in X$), bu küme boş küme olarak tanımlanır [88]. Bulanık kümelerde dışbükeylik, özellikle optimizasyon ve karar verme uygulamalarında önemli bir kavramdır. Bu özellik, α - kesimlerine veya üyelik fonksiyonlarına dayalı olarak tanımlanabilir. Üyelik fonksiyonlarına göre dışbükeylik, $x_1, x_2 \in X$ ve $\delta \in [0,1]$ olmak üzere şu şekilde ifade edilir:

$$\mu_A(\delta x_1 + (1 - \delta)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad (3.8)$$

Bu tanıma göre, bir A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu artan veya azalan bir şekilde monoton ya da önce artıp sonra azalan bir davranış gösteriyorsa, bu kümeye dışbükey denir [79]. Eğer bir A bulanık kümesinin tüm α - kesimleri dışbükey ise, A kümesi de dışbükey olarak kabul edilir. Benzer şekilde, A bulanık kümesinin tümleyeni (A^c) dışbükey ise, bu durumda A kümesi içbükeydir. Ayrıca, A ve B kümelerinin her ikisi dışbükey küme olduğunda, $A \cap B$ kesişim kümesi de dışbükeydir. Tersisi durumda, A ve B kümelerinin her biri içbükey olduğunda, $A \cup B$ birleşim kümesi de içbükeydir [88]. Bulanık sayılar, bulanık kümelerin normal ve dışbükey olan özel alt kümeleri olarak tanımlanır. Bu sayılar, klasik sayıların aksine, belirsizlik içeren veya yaklaşık değerlerin gerektiği durumlarda kullanılmaktadır. Matematiksel olarak, bir A bulanık kümesindeki $x \in A$ elemanının bulanık sayı olarak kabul edilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir.

- A kümesi normal bir küme olmalıdır. Küme, üyelik derecesi 1 olan en az bir eleman içermelidir.
- $A_\alpha \in (0,1]$ aralığında tanımlı olmalıdır.
- A kümesinin destek kümesi sınırlı olmalıdır: Üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanlar belirli bir aralıkta yer almalıdır.
- A kümesinin her bir α - kesimi, gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır [92].

Herhangi bir $M = \{x, \mu_M(x)\}$ alt kümesi, x reel sayılar kümesine ait elemanlardan oluşur ve $\mu_M(x)$ üyelik fonksiyonu $[0,1]$ aralığında bir değer alır. Bu üyelik fonksiyonu, M kümesinin belirli bir x elemanına ilişkin aitlik derecesini ifade eder. İki bulanık sayı, yalnızca üyelik fonksiyonlarının tamamen aynı olması durumunda birbirine eşit kabul edilebilmektedir [93].

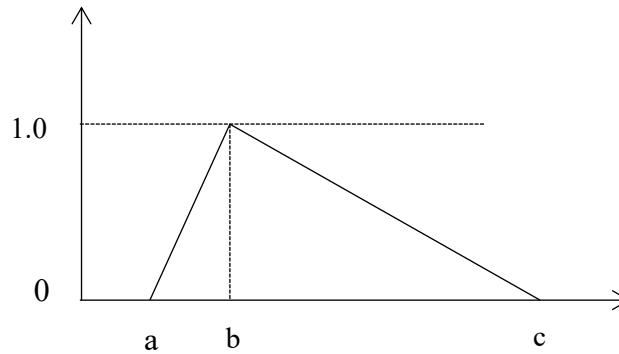
Üçgensel bulanık sayılar, basit yapıları ve kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir bulanık sayı türüdür. Bu yapı, belirsiz veya yaklaşık verilerin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

- a : Üyelik derecesinin 0 olduğu alt sınırdır.
- b : Üyelik derecesinin 1 olduğu merkezi noktadır.
- c : Üyelik derecesinin 0 olduğu üst sınırdır.

A bulanık bir küme, $x \in A$, $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olmak üzere, $\mu(x)$;

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x < b \\ 1 & x = b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b < x \leq c \end{cases} \quad (3.9)$$

biçiminde tanımlandığında x bir üçgensel bulanık sayıdır [92]. a, b, c birer parametre olmak üzere a ve c üçgensel bulanık bir sayının alt ve üst sınır değerleridir ve üyelik derecesinin 0 olduğu noktalardır. b parametresi ise üyelik derecesinin 1 olduğu noktayı vermektedir.



Şekil 3.1. Üçgensel Bulanık Sayı [84]

Yamuksal bulanık sayılar, üçgensel bulanık sayıların genelleştirilmiş bir formu olarak tanımlanır ve a, b, c, d şeklinde ifade edilir:

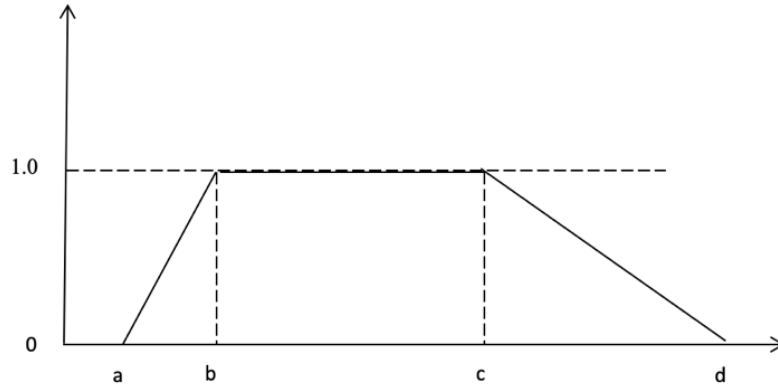
- a : Üyelik derecesinin 0 olduğu sol sınırdır.
- b, c : Üyelik derecesinin 1 olduğu merkezi bölgeyi ifade eder.
- d : Üyelik derecesinin 0 olduğu sağ sınırdır.

A bulanık küme, $x \in A$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olmak üzere, $\mu(x)$;

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (3.10)$$

biçiminde tanımlandığında x bir yamuksal bulanık sayıdır.

Aşağıdaki şekilde x yamuksal bulanık sayısı $x = (a, b, c, d)$ biçiminde gösterilmiştir. Burada $(b - a)$ sol yayılım ve $(d - c)$ sağ yayılımdır [84].
 $b = c$ olduğunda yamuksal bulanık sayı üçgensel bulanık sayıya dönüşmektedir.



Şekil 3.2. Yamuksal Bulanık Sayı [84]

Bu yapı, daha geniş bir belirsizlik aralığını ifade etmek için kullanılabilir. Eğer $b = c$ eşitliği sağlanırsa, yamuksal bulanık sayı üçgensel bulanık sayıya dönüşür. Yamuksal bulanık sayılar, özellikle daha karmaşık sistemlerde belirsizliğin modellenmesi için avantaj sağlamaktadır [84].

3.3. Bulanık Mantık ve Portföy Analizi İlişkisi

Finansal piyasalarda yatırım kararları genellikle belirsizliklerle ve karmaşıklıklarla karşı karşıya kalır. Getiriler ve riskler çoğu zaman kesin olarak öngörülemez ve bu durum,

yatırımcıların karar alma süreçlerini önemli ölçüde zorlaştırır. Optimal portföyün oluşturulması ve yönetilmesi için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Modern portföy teorisinin temelini, Markowitz' in [1] geliştirdiği ortalama varyans modeli oluşturmaktadır. Bu modelde, Markowitz risk ölçüsü olarak portföy varyansını kullanmıştır. Portföyün riskini getirilerin standart sapmasıyla ölçen bu model, hedeflenen getiri düzeyinde portföy varyansını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, teorik açıdan büyük bir öneme sahip olmasına rağmen, Markowitz modelinin geniş ölçekli portföy optimizasyonlarında kullanımı hesaplama zorlukları nedeniyle sınırlı kalmıştır. Bu zorluklar, yoğun kovaryans matrisi ile karesel programlamanın çözülmesindeki karmaşıklıktan kaynaklanmaktadır [7], [94].

Bu tür belirsizliklerin ve hesaplama güçlüklerinin üstesinden gelmek için alternatif modeller ve yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda bulanık mantık, belirsizliklerin modellenmesinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak, bulanık mantık kesin olmayan durumları ele alma kapasitesine sahiptir ve yatırımcıların daha bilinçli ve esnek kararlar almasını sağlamaktadır [75].

Bulanık mantık, klasik mantığın "doğru" ve "yanlış" gibi keskin kategorilere dayalı yapısını aşarak, kısmen doğru veya belirsiz olan durumları modellemek için tasarlanmıştır. Bu özellik, yatırımcıların risk-getiri dengesini optimize etmek için kullandıkları portföy analizinde özellikle faydalıdır. Örneğin, bir yatırımcı beklenen getiriyi yalnızca bir değer olarak değil, bir aralık ve bu aralıktaki olasılıklı derecelerle modelleyebilir. Bu da karar alma sürecine yeni bir esneklik kazandırır [80], [95].

3.3.1. Risk ve Getiri Dengesine Bulanık Mantık Yaklaşımı

Portföy analizi sürecinde, yatırımcılar risk ve getiri arasında bir denge kurmayı hedefler. Ancak finansal piyasalarda belirsizliklerin varlığı, bu hedefe ulaşmayı zorlaştırır. Bu noktada bulanık mantık, yatırımcıların değişen piyasa koşullarında karar vermelerine yardımcı olacak daha gerçekçi ve uyarlanabilir modeller sunar. Bu bağlamda, yatırımcı türlerine göre farklı yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Az risk taşıyan ve tatmin edici kazançlar sunan portföyler, bu yatırımcılar tarafından öncelikli olarak tercih edilir. Bulanık mantık yaklaşımları, risk düzeyini minimumda tutarken farklı kazanç seçenekleri sunarak bu gruba hitap eden çözümler üretir.
- Riske Karşı Nötr Yatırımcılar: Risk ve getiri arasında dengeli bir yaklaşımı benimserler. Bulanık mantık, belirsizlik içeren piyasa koşullarında yatırımcının bu dengeyi korumasına yardımcı olan çözümler sunar [88].

- Risk Arayan Yatırımcılar: Daha yüksek getiriler elde etmek için yüksek risk almaya isteklidirler. Bulanık mantık modelleri, yüksek belirsizlik içeren ancak yüksek getiri potansiyeline sahip portföyleri tanımlamak için kullanılabilir [88].

3.3.2. Bulanık Mantığın Portföy Optimizasyonundaki Rolü

Bulanık mantık, yatırımcıların risk ve getiri arasındaki dengeyi matematiksel bir model aracılığıyla optimize etmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, yalnızca risk-getiri oranlarını değil, aynı zamanda piyasa değişkenliklerinden kaynaklanan belirsizlikleri de hesaba katar. Bu kapsamda:

- Üyelik Fonksiyonları: Risk ve getiri değişkenlerinin bulanık kümelerle ifade edilmesi, yatırımcıların tercihlerine göre farklı risk seviyelerinde çözümler sunar. Bu yöntem, portföy seçiminde daha esnek bir yapı sunar [80].
- Simetrik ve Asimetrik Modeller: Simetrik modeller, amaç fonksiyonu ve kısıtların kesişimini en iyi çözüm olarak tanımlar. Asimetrik modeller ise yatırımcının hedeflerine göre farklı optimizasyon stratejileri sunar [95].

Bulanık mantık, belirsizliklerin hâkim olduğu finansal piyasa koşullarında yatırımcılara daha bilinçli ve esnek kararlar alabilmeleri için önemli bir araç sunmaktadır. Geleneksel modellerin, özellikle Markowitz' in ortalama-varyans yaklaşımının, kesin veriler gerektirdiği durumlarda yaşadığı kısıtlamalar, bulanık mantık sayesinde aşılabilmektedir. Bu yöntem, belirsizlikleri daha etkili bir şekilde modelleyerek yatırım kararlarının dinamik piyasa koşullarına uyum sağlamasını kolaylaştırır. Ayrıca, bulanık mantık, modern portföy teorisinin sunduğu fırsatları genişleterek risk-getiri dengesini daha kapsamlı bir şekilde ele almayı mümkün kılar. Böylece, yatırımcılar yalnızca mevcut piyasa koşullarına değil, aynı zamanda gelecekteki belirsizliklere karşı da hazırlıklı olabilir [7].

3.4. Bulanık Doğrusal Programlama

Bulanık küme teorisi yardımıyla, hedefler ve kısıtlar alternatifler uzayında kesin bir şekilde tanımlanabilir. Bu bağlamda, bulanık bir karar, ele alınan problemde hedeflerin ve kısıtların kesişiminden oluşur. En uygun karar, alternatifler uzayında yer alan noktalar arasında en yüksek üyelik derecesine sahip olan bulanık karar olarak tanımlanabilir [96]. Bulanık doğrusal programlama, klasik doğrusal programlamanın bulanık mantık teorisi ile entegre edilmiş bir genellemesidir. Bu yöntem, karar süreçlerinde belirsizlik içeren parametrelerin modellenmesine imkân tanır ve doğrusal programlama tekniklerini

kullanarak bu tür problemlere çözümler üretir. Belirsizliğin karar modellerine dahil edilmesi, karar vericinin hedefler ve kısıtlar arasındaki ilişkiyi daha kesin olmayan bir çerçevede değerlendirmesine olanak sağlar. Bu çerçevede, bulanık doğrusal programlama özellikle eksik veri veya esneklik gerektiren durumlarda tercih edilmektedir [97].

Gerçek dünya problemlerinde veriler genellikle belirsizlik içerir ve kesin olarak tanımlanamaz. Bu durum, karar vericilerin netlik içermeyen veya sayısal olmayan bilgileri değerlendirerek karar alma sürecini yürütmesini gerektirir. Bu tür durumlarda, bulanık küme teorisinin karar verme süreçlerine entegre edilmesi, daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar.

Belirsizlik ve sübjektiflik, bireylerin karar alma süreçlerinin doğal bir parçasıdır. Geleneksel yöntemler, özellikle belirsizliklerin yoğun olduğu durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, alternatiflerin değerlendirilmesinde belirsizlikleri etkili bir şekilde ele alabilen bulanık karar verme yöntemlerinin önemli bir araç haline gelmesine neden olmuştur. Bu bağlamda, bulanık mantığın temel amacı, kesinlik içermeyen ve eksik bilgilere dayalı karar verme süreçlerini modelleyerek, bireylerin tutarlı ve doğru kararlar almasını destekleyen düşünme ve değerlendirme mekanizmalarını geliştirmek olduğunu söylemek mümkündür [98].

G : Bulanık hedef,

$\mu_G(x) \in [0,1]$: Bulanık hedefin üyelik fonksiyonu,

C : Bulanık kısıt,

$\mu_C(x)$: Bulanık kısıtın üyelik fonksiyonu,

D : Bulanık karar,

$\mu_D(x)$: Bulanık kararın üyelik fonksiyonu olmak üzere X alternatifler uzayında tanımlanmış olsunlar.

Bu bağlamda, bulanık hedeflerin ve bulanık kısıtlamaların aynı anda sağlandığı durum, bulanık karar olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, $D = G \cap C$ biçiminde ifade edilmekte olup aşağıda detaylandırılmaktadır.

$$\mu_D(x) = \mu_{G \cap C}(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x) = \min\{\mu_G(x), \mu_C(x)\} \quad (3.11)$$

Genellemek gerekirse, $G_1, G_2, \dots, G_n$ n tane bulanık hedef ve $C_1, C_2, \dots, C_m$ m tane bulanık kısıt olmak üzere,

$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m$ ve üyelik fonksiyonları ile aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [96]:

$$\mu_D(x) = \min[\mu_{G_1}(x), \mu_{G_2}(x), \dots, \mu_{G_n}(x), \mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), \dots, \mu_{C_m}(x)] \quad (3.12)$$

Bulanık doğrusal programlama problemlerinde, optimum kararın belirlenebilmesi için, bulanık karar kümesi içerisindeki en yüksek üyelik derecesine sahip elemanın tespit edilmesi gereklidir. Bu süreçte, max-min operatörü, belirlenen hedefler ve kısıtlar arasında uyumu sağlayarak, her iki koşulu da en iyi şekilde karşılayan alternatifler arasından en uygun olanı seçmek için kullanılır. Bu yöntem, her bir alternatfin üyelik derecelerini değerlendirir ve en yüksek uyumu sağlayan seçeneği belirler. Bulanık doğrusal programlama problemlerinde optimum kararın belirlenebilmesi için, bulanık karar kümesi içerisindeki en yüksek üyelik derecesine sahip elemanın tespit edilmesi gereklidir. Bu durum,

$$\mu_D(x^M) = \max \mu_D(x) \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir [99]. Max-min işlemcisi olarak da adlandırılan bu yöntem, en kötü durumlar arasında en iyi çözümü seçmeye olanak tanıyan güvenilir bir yaklaşım sunar. Max-min eşitleyicisi, aşağıda açık bir şekilde ifade edilmektedir;

$$\max \mu_D(x) = \max(\min(\mu_G(x), \mu_C(x))) \quad (3.14)$$

Max-min operatörü, bulanık beklenen getirinin hesaplanmasını kolaylaştıran etkili bir araçtır. Bu operatör, problemlere uygulanan bulanık kümelerin tüm mekanizmasının etkin bir şekilde çalışmasına olanak sağlar. Ayrıca, max-min operatörü kullanılarak çok seviyeli duyarlılık analizleri gibi bulanık karar analizlerinde ilgi çekici ve kapsamlı yorumlar elde edilebilir. Bu yöntem, özellikle belirsizlik içeren karar problemlerinde güçlü bir çözüm mekanizması sunmaktadır.

3.4.1. Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri

Bulanık doğrusal programlama modelleri, simetrik ve simetrik olmayan yaklaşımlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bellman ve Zadeh tarafından önerilen simetrik modellerde, kesin bilgiye ulaşılamayan durumlarda hem amaç fonksiyonu hem de kısıtlar bulanık kümelerle ifade edilmektedir. Bu tür modellerde karar verme süreci, amaç ve kısıtların bulanık kümeler olarak kesişiminden elde edilen çözümle gerçekleştirilmektedir ve bu çözüm max-min operatörleriyle tanımlanabilmektedir.

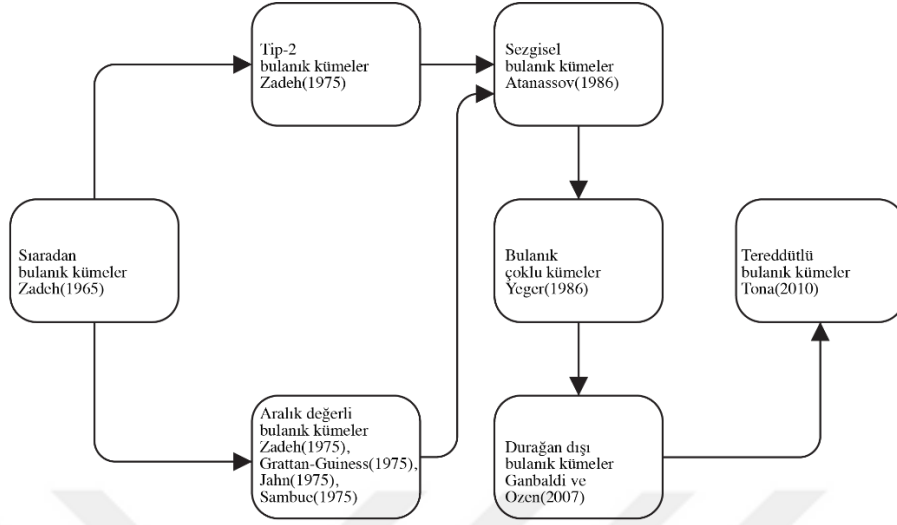
Simetrik olmayan modeller ise iki temel yaklaşıma dayanmaktadır. İlk olarak, bulanık küme kararının belirlenmesi hedeflenirken, ikinci adımda amaç fonksiyonu ve kısıtlar üzerinde uygun dönüşümler yapılmakta ve bu dönüşümlerin kesişim noktası dikkate alınarak en uygun karar maksimize edilmektedir. Simetrik olmayan bu modeller, karar vericinin belirsizlik altında daha esnek çözümler üretebilmesini sağlamaktadır.

Simetrik modelleme programlarından biri olan Zimmermann'ın modeli, karar vericinin ulaşmayı hedeflediği amaç fonksiyonunun bir istek seviyesi olarak belirlenmesini esas alır. Bu modele göre, kısıtların her biri ayrı bir bulanık küme şeklinde modellenebilir. Böylece, karar alma sürecinde hem amaç fonksiyonu hem de kısıtlar belirsizliğe uygun şekilde ele alınır ve max-min operatörleriyle çözüm sağlanır. Model, belirlenen istek seviyesine en yakın çözümleri sunarak belirsizlik koşullarında karar vericilere daha esnek alternatifler sunmayı amaçlamaktadır [88].

3.5. Kararsız Bulanık Kümeler

Zadeh' in 1965 yılında literatüre kazandırdığı “Bulanık Kümeler” çalışması, bilim dünyasında geniş yankı uyandırmış ve araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu çalışma, klasik mantığın sınırlamalarını aşan yeni bir perspektif sunarak, matematiksel modelleme süreçlerinde önemli bir devrim yaratmıştır. Zadeh'in çalışması, gerçek dünyadaki karmaşık ve belirsiz durumları matematiksel olarak ifade etme gereksinimi duyan araştırmacılar için güçlü bir temel oluşturmuş ve bulanık kümeler, bilimsel literatürde hızla yaygın bir şekilde kabul görmüştür.

Zadeh' in bu önemli katkısı, yalnızca teorik temellerle sınırlı kalmamış, aynı zamanda mühendislik, ekonomi, yapay zekâ ve sosyal bilimler gibi farklı disiplinlerde çok sayıda uygulamaya ilham kaynağı olmuştur. Bu süreçte, farklı türde bulanık kümeler ve yaklaşımlar geliştirilmiş, bu gelişmeler de bulanık mantığın çok yönlü bir araç olarak tanınmasını sağlamıştır. Literatürde yer alan bu gelişmeler, Şekil 3.3'de özetlenen tarihsel süreçle daha net bir şekilde anlaşılabilmektedir.



Şekil 3.3. Bulanık Küme Teorisinin Gelişim Süreci [81]

Torra kararsız bulanık kümeleri tanımlarken, bulanık mantıkta bir kümeye ait olma derecesini belirten üyelik fonksiyonunun belirlemenin zorluğunu hataya bağlı olmadığını olası değerlerin birden fazla olabileceğini ve bunu bir küme ile belirtmek gerektiğini savunmuştur [44]. Bu nedenle, Torra ve Narukawa, olası değerler kümesiyle üyeliği tanımlayabilmek için kararsız bulanık kümeleri önermişlerdir [45]. Kararsız bulanık küme kavramı Tanım 1 ile verilmiştir.

Tanım 1: X bir referans küme olsun, X üzerinde tanımlanan kararsız bulanık küme h fonksiyonu cinsinden ifade edilir. h fonksiyonu, X kümesini $[0, 1]$ alt kümesine dönüştür. Kararsız bulanık kümenin her bir elemanı $h(x)$ sonlu ve boş olmayan $[0, 1]$ aralığının bir alt kümesidir. A kararsız bulanık kümesi $A = \{x, h_A(x) \mid x \in X\}$ matematiksel semboller ile verilir ve $h_A(x), x \in X$ olmak üzere A kümesinin olası üyelik derecelerini temsil eder. $h = h_A(x)$ kararsız bulanık eleman olarak adlandırılır [100], [101].

Kolaylık olması açısından kararsız bulanık elemanlar $h_A(x) = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l\}$ biçiminde tanımlanabilir. Bunlar kararsız bulanık kümenin elemanlarıdır. Burada μ_s ($s = 1, 2, \dots, l$) farklı üyelik fonksiyonlarını temsil eder. Dolayısıyla kararsız bulanık kümede l tane farklı üyelik fonksiyonu bulunmaktadır.

4. PORTFÖY ANALİZİ İÇİN GELİŞTİRİLEN YENİ BULANIK MODELLER

4.1. Geliştirilen Bulanık Portföy Matematiksel Modelleri

Portföy optimizasyonu modelleri, literatürde oldukça yaygın şekilde kullanılan yaklaşımlar arasında yer alır. İlk olarak Markowitz tarafından geliştirilen ve ortalama-varyans modeli olarak bilinen bu model, zamanla farklı risk ölçütleri kullanılarak yeniden şekillendirilmiştir. Literatürde karesel programlama temelli Markowitz modeline alternatif olarak ortaya çıkan, risk ölçütü olarak ortalama mutlak sapmayı benimseyen Konno-Yamazaki modeli ise öne çıkan seçeneklerden biridir [102].

Konno-Yamazaki modelinde, belirsiz bir parametre olan $\tilde{p}M_0$ ile ifade edilen beklenen getiri miktarı ve amaç fonksiyonunun bulanık bir şekilde tanımlanması durumunda, Zimmermann'ın simetrik programlama modeli devreye girmektedir. Bu durumda, Konno-Yamazaki modelindeki bulanık yapı, Zimmermann'ın modeliyle uyumlu hale getirilmiş ve sonuç olarak model, "Bulanık Model 1" (BM1) olarak adlandırılan denklemler kümesi Eşitlik (4.1) ile verilmiştir.

BM1:

$Max \alpha$

$$y_t - \sum_{j=1}^n a_{jt}x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

$$y_t + \sum_{j=1}^n a_{jt}x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

$$1 - \left[\sum_{t=1}^T \frac{y_t}{T} - b_0 \right] / p_0 \geq \alpha$$

$$1 - [\tilde{p}M_0 - \sum_{j=1}^n r_j x_j] / p_1 \geq \alpha$$

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

$$0 \leq x_j \leq u_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$y_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

$$\alpha \in [0,1]$$

(4.1)

Burada, b_0 bulanık amaç fonksiyonu değeri, b_t bulanık kaynak değerleri, p_0 bulanık amacın tolerans değeri ve p_t bulanık kaynakların tolerans değeridir.

Konno-Yamazaki modelinde yalnızca $\tilde{p}M_0$ parametresiyle ifade edilen beklenen getirinin bulanık olduğu durumlarda yapı, Zimmermann'ın modeliyle uyumlu hale getirilmiştir. Bu

model ise "Bulanık Model 2" (BM2) olarak adlandırılan denklemler kümesi Eşitlik (4.2) ile verilmiştir.

BM2:

$$\begin{aligned}
& \text{Min } \sum_{t=1}^T y_t / T \\
& y_t - \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \\
& y_t + \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \\
& 1 - [\tilde{\rho} M_0 - \sum_{j=1}^n r_j x_j] / p_1 \geq \alpha \\
& \sum_{j=1}^n x_j = M_0 \\
& 0 \leq x_j \leq u_j \quad , \quad j = 1, \dots, n \\
& y_t \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \\
& \alpha \in [0,1]
\end{aligned} \tag{4.2}$$

Bulanık matematiksel programlama, klasik optimizasyon yöntemlerini bulanık mantık prensipleriyle birleştiren güçlü ve esnek bir yaklaşım sunar. Bu yöntemde, problemin temel unsurları olan karar değişkenleri, kısıtlamalar ve amaç fonksiyonları, yalnızca kesin değerlerle değil, aynı zamanda belirsiz, yaklaşık veya bulanık değerlerle de ifade edilir. Bu, özellikle kesin bilgiye ulaşamayan ya da verilerin belirsizlik içerdiği durumlarda, problemlerin daha etkili bir şekilde ele alınmasını sağlar.

Bulanık matematiksel programlama, karar verme süreçlerini geleneksel yaklaşımlardan daha esnek hale getirmekle kalmaz; aynı zamanda farklı karar alternatiflerini detaylı bir şekilde değerlendirme olanağı sunar. Böylece, problemin hem teorik hem de pratik yönlerini daha gerçekçi bir perspektiften ele alır. Belirsiz verilerle çalışabilme kapasitesi sayesinde, bu yöntem, özellikle karmaşık ve dinamik sistemlerde karar verme süreçlerine önemli katkılar sunar [88].

4.2. Geliştirilen Kararsız Bulanık Portföy Matematiksel Modelleri

Bulanık küme teorisinin bir uzantısı olan kararsız bulanık kümeler, kısa sürede birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve benimsenmiştir. Bunun başlıca nedeni, kararsızlığın gerçek hayat problemlerinde sıkça karşılaşılan bir durum olmasıdır. Kararsız bulanık kümeler, belirsizlik ve çelişkili bilgilerle başa çıkmak için güçlü bir araç sunarak karar verme süreçlerine önemli bir katkı sağlar. Literatürde bu teorinin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, çok kriterli karar verme, tedarik zinciri yönetimi, sağlık hizmetleri, finansal portföy optimizasyonu ve sosyal bilimlerdeki değerlendirme

süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [103], [104], [105], [106], [107]. Bu uygulamalar, kararsız bulanık kümelerin esnekliğini ve etkinliğini ortaya koymakta, aynı zamanda bu teorinin gerçek dünya problemlerine entegre edilebileceğini göstermektedir.

Kararsız Bulanık Matematiksel Programlama, bulanık matematiksel programlamanın bir uzantısı olup, belirsizliği ve karmaşıklığı daha etkin bir şekilde modellemeye odaklanan bir yaklaşımdır. Bu yöntem, karar verme süreçlerinde belirsizliğin ve çelişkili bilgilerin var olduğu durumlarda güçlü bir araç sunar. Özellikle, koşulların değişken olduğu ya da verilerin tam ve kesin olmadığı problemlerde, bu yöntem, çözüm geliştirme sürecini esnek ve dinamik bir hale getirir. Kararsız Bulanık Matematiksel Programlama, belirsizliği doğrudan modele entegre ederek, karmaşık karar problemlerinin daha gerçekçi ve uygulanabilir çözümlerle ele alınmasına olanak tanır [108].

Çalışmanın bu kısmında, risk ve beklenen getiri değerleri kararsız bulanık sayılarla ifade edilen KM modelinin deterministik bir modele dönüştürülmesi ve bu modelin uygulanabilirliği üzerine odaklanılmıştır. KM modelde, ρM_0 ile gösterilen sağ taraf sabiti ve amaç fonksiyonunun kararsız bulanık sayı olarak ele alınması durumunda, ortaya çıkan doğrusal programlama problemi aşağıda sunulmuştur. Bu doğrusal programlama problemi, literatürde Kararsız Bulanık Konno-Yamazaki Modeli (KBM3) olarak adlandırılmaktadır ve belirsizlik içeren koşullarda optimizasyon süreçlerini ele almak için güçlü bir yöntem sunmaktadır.

KBM3

$$Enb \alpha \quad (4.3)$$

Kısıtlar

$$y_t - \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

$$y_t + \sum_{j=1}^n a_{jt} x_j \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

$$\mu_{0s}(y) \geq \alpha, \quad s = 1, 2, \dots, l \quad (4.4)$$

$$\mu_{1s}(r) \geq \alpha, \quad s = 1, 2, \dots, l \quad (4.5)$$

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

$$0 \leq x_j \leq u_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$y_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T$$

KM modelinde, amaç fonksiyonu ve sağ taraf sabitlerinin kararsız bulanık parametreler içermesi durumunda, bu model Kararsız Bulanık Konno-Yamazaki Modeli (KBM3) kullanılarak çözülebilir. Eşitlik (4.4) ve Eşitlik (4.5), sırasıyla kararsız bulanık

sayılarla ifade edilen risk ve beklenen getiriye ait üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bu çalışmada, kararsız eleman sayısı 3 olarak belirlenmiş ve her bir eleman için $s = 1,2,3$ üyelik fonksiyonlarının açık ifadeleri Eşitlik (4.6-4.8) ile tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, kararsızlık durumlarını detaylı bir şekilde modellemeye ve analiz etmeye olanak tanımaktadır.

$$\mu_{01}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/T < z_L - (k * z_L) \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/T] - (z_L - (k * z_L))}{(z_U - z_L) - k * (z_U - z_L)}, & z_L - (k * z_L) \leq \sum_{t=1}^T y_t/T \leq z_U - (k * z_U) \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/T > z_U - (k * z_U) \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\mu_{02}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/T < z_L \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/T] - z_L}{(z_U - z_L)}, & z_L \leq \sum_{t=1}^T y_t/T \leq z_U \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/T > z_U \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\mu_{03}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/T < z_L + (k * z_L) \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/T] - (z_L + (k * z_L))}{(z_U - z_L) + k * (z_U - z_L)}, & z_L + (k * z_L) \leq \sum_{t=1}^T y_t/T \leq z_U + (k * z_U) \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/T > z_U + (k * z_U) \end{cases} \quad (4.8)$$

Bu çalışmada z_U , KM modelinin optimal çözümünden elde edilen $y_t, t = 1, \dots, T$ karar değişkenlerine bağlı olarak hesaplanmış ve $z_U = \max_t y_t$ olarak tanımlanmıştır. Buna karşılık, z_L , KM modelinin en iyi değerini ifade etmektedir. Kararsız bulanık elemanları oluşturan üç farklı üyelik fonksiyonu $s = 1,2,3$, farklı oranlar için detaylı olarak incelenmiştir. Bu oranlar $k = 0,10; 0,20; \dots, 0,90$ aralıklarında çalışılmıştır. Bu modelleme, karar değişkenlerinin etkisini analiz etme ve kararsız bulanık elemanların farklı durumlar altındaki davranışlarını inceleme olanağı sunmaktadır.

$$\mu_{1s}(r) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n r_j x_j < (L_{\rho M_0})_s, \quad s = 1,2,3 \\ 1 - \frac{(U_{\rho M_0})_s - \sum_{j=1}^n r_j x_j}{(U_{\rho M_0})_s - (L_{\rho M_0})_s}, & (L_{\rho M_0})_s \leq \sum_{j=1}^n r_j x_j \leq (U_{\rho M_0})_s, \quad s = 1,2,3 \\ 1, & \sum_{j=1}^n r_j x_j > (U_{\rho M_0})_s, \quad s = 1,2,3 \end{cases} \quad (4.9)$$

$\mu_{1s}(r)$, $s = 1,2,3$ üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için, beklenen getiri değerleri yani ρM_0 'ların farklı güven düzeylerindeki güven aralıkları kullanılarak belirlenmiştir. Burada L ve U notasyonları, sırasıyla güven aralıklarının alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir. Güven aralıkları oluşturulurken, güven düzeylerinin yüksek olması istatistiksel analizlerin güvenilirliğini artıran bir faktör olarak önem taşımaktadır.

Bu nedenle, çalışma kapsamında üç farklı güven seviyesi tercih edilmiş olup bunlar: $s = 1$ için 0,90; $s = 2$ için 0,95; $s = 3$ için 0,99' dur.

Güven aralıklarının hesaplanmasında, veri setinin özellikleri ve varsayımların sağlanıp sağlanmadığına bağlı olarak t ya da z dağılımı kullanılmıştır. Bu yöntem, veri dağılımına uygun bir yaklaşımla hesaplamaların yapılmasını sağlamaktadır. Güven aralıklarının matematiksel ifade edilişi ise Eşitlik (4.10) ve Eşitlik (4.11) ile verilmiştir. Bu hesaplama yöntemi, güven aralıklarının doğruluğunu artırarak çalışmanın istatistiksel güvenilirliğini desteklemektedir.

$$P\left(\overline{X}_{\rho M_0} + z_{\alpha/2} \left(\frac{\sigma_{\rho M_0}}{\sqrt{n}}\right) < \mu_{\rho M_0} < \overline{X}_{\rho M_0} + z_{\alpha/2} \left(\frac{\sigma_{\rho M_0}}{\sqrt{n}}\right)\right) = 1 - \alpha' \quad (4.10)$$

veya

$$P\left(\overline{X}_{\rho M_0} + t_{\alpha/2} \left(\frac{S_{\rho M_0}}{\sqrt{n}}\right) < \mu_{\rho M_0} < \overline{X}_{\rho M_0} + t_{\alpha/2} \left(\frac{S_{\rho M_0}}{\sqrt{n}}\right)\right) = 1 - \alpha' \quad (4.11)$$

Yukarıda verilen açıklamalar sonucunda, Eşitlik (4.8-4.10) ile oluşturulan doğrusal programlama problemi en iyi çözümü tek olan kesin doğrusal matematiksel modele dönüşmektedir.

5. UYGULAMA

Çalışmanın ilk bölümünde BIST 50’de 30.10.2023 ve 01.12.2023 tarihleri arasında işlem görmüş olan 50 hisse senedine ait verilerin günlük kapanış fiyatları verileri elde edilmiştir. Beklenen getiri miktarının ve amaç fonksiyonunun bulanık olduğu varsayılarak Bulanık Model 1 (BM1), sadece beklenen getiri miktarının bulanık olduğu varsayılarak Bulanık Model 2 (BM2) model çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ele alınan zaman aralığı 25 gün olup kısıtlı bir süreyi içerse de modelin geçerliliği ve doğruluğunu test etmek için yeterlidir. Büyük boyutlu problemler için de önerilen model rahatlıkla kullanılabilir. İş akışında belirtilen adımlar ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Adım 1: Ortalama getiri oranlarını, ortalamadan sapmayı hesapla.

Çalışmada ilk olarak 02.10.2023 tarihi başlangıç alınarak BIST 50 kapsamındaki hisse senetlerine ait 25 adet kapanış fiyatı alınmıştır. İlgili dönemde kâr payı ödemesi ve hisse senedi bölünmesi gibi hisse senedi fiyatını ve dolayısıyla getirileri dışsal olarak değiştiren etmenler bulunmamaktadır. Buna bağlı olarak, j . hisse senedinin $t + 1$. dönem sonundaki getiri oranı Eş. (5.1) ile hesaplanmıştır.

$$r_{j(t+1)} = \frac{k_{j(t+1)} - k_{jt}}{k_{jt}}, \quad j = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, T - 1 \quad (5.1)$$

Burada k_{jt} ; j . hisse senedinin t . dönemdeki kapanış fiyatıdır. j . hisse senedinin T dönemdeki ortalama getiri oranı Eş. (5.2) ile hesaplanmıştır.

$$r_j = \frac{\sum_{t=1}^T r_{j(t+1)}}{T} \quad (5.2)$$

Ortalama getiri oranlarının ortalamaları Eş. (5.3) ile verilmiştir.

$$\bar{r} = \frac{\sum_{j=1}^n r_j}{n} \quad (5.3)$$

j . hisse senedinin T dönemdeki ortalama getiri oranlarının standart sapması Eş. (5.4) ile hesaplanır.

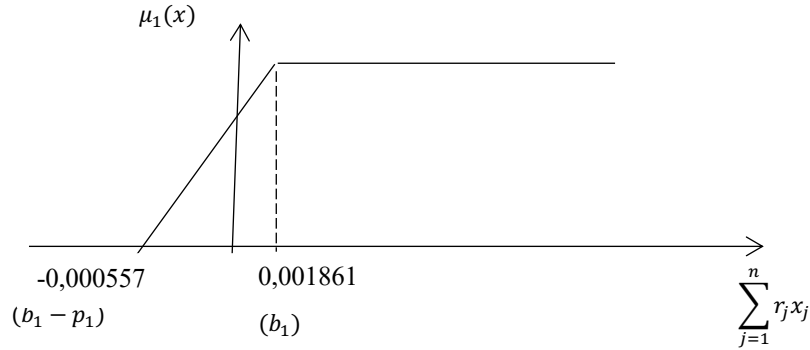
$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (r_j - \bar{r})^2} \quad (5.4)$$

j . hisse senedinin t . dönemde gerçekleşen getiri oranı ile ortalama getiri oranı arasındaki fark Eş. (5.5) ile verilmiştir.

$$a_{jt} = r_{jt} - r_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (5.5)$$

Adım 2: BM1 ve BM2: Bulanık Konno-Yamazaki modellerinin çözümü: Beklenen getiri oranları için tolerans değerini bul.

Çalışmanın bu adımında elde edilen modeller ile çalışılmıştır. 50 hisse senedinin, 25 günlük dönemi için ortalama getiri oranlarının ortalamaları hesaplanmıştır. %95 güven düzeyinde beklenen getiri oranlarının ortalaması için güven aralığı $[-0,000557; 0,001861]$ olup güven aralığının uzunluğu 0,002418 olarak elde edilmiş ve bu değer bulanık matematiksel modelde güven aralığının uzunluğu, p_1 tolerans değeri olarak alınmıştır. Beklenen getiri oranına ait üyelik fonksiyonu Şekil 5.1.' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Beklenen getiri oranına ait üyelik fonksiyonu

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^{24} y_t/24 < z_L \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^{24} y_t/24] - z_L}{z_U - z_L}, & z_L \leq \sum_{t=1}^{24} y_t/24 \leq z_U \\ 0, & \sum_{t=1}^{24} y_t/24 > z_U \end{cases} \quad (5.10)$$

Burada z_L kesin model sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değeridir z_U ise kesin model sonucunda elde edilen maksimum risk değeridir.

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^{50} r_j x_j < -0,000557 * M_0 \\ 1 - \frac{0,001861 * M_0 - \sum_{j=1}^{50} r_j x_j}{[0,001861 * M_0] - [-0,000557 * M_0]}, & -0,000557 * M_0 \leq \sum_{j=1}^{50} r_j x_j \leq 0,001861 * M_0 \\ 1, & \sum_{j=1}^{50} r_j x_j > 0,001861 * M_0 \end{cases} \quad (5.11)$$

Burada M_0 değeri 100 alınmıştır. Eş. 5.6 – 5.9 ile verilen model çözülerek, bulanık modelin çözümleri elde edilmiş ve BM1 ve BM2 model çözümleri Tablo 5.1. ile verilmiştir.



Tablo 5.1. KM, BM1 ve BM2 çözümleri

Model	Alfa (α)	Hisse Senedi Sayısı	Hisse Senedine Yapılan Yatırım Oranları														Getiri	Risk (Ortalama Mutlak Sapma)	Modifiye Sharpe Oranı*
			X3	X4	X7	X9	X16	X22	X23	X26	X31	X36	X37	X39	X42	X46			
KM	-	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
BM1	0,99	11	2,083	6,818	-	4,269	23,119	1,999	19,204	9,860	5,451	-	9,627	10,593	6,977	-	0,185432	0,636671	0,289917
BM2	0,1	12	5,097	4,581	-	5,411	26,428	-	6,249	8,897	5,353	2,918	14,983	13,157	4,577	2,349	0,254244	0,646018	0,392240
	0,2	11	4,933	7,711	-	0,974	20,748	5,887	24,662	11,826	4,548	-	3,831	8,365	6,515	-	0,147776	0,632396	0,232332
	0,3	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,4	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,5	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,6	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,7	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,8	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552
	0,9	12	5,301	8,946	1,400	1,052	19,848	5,307	22,913	15,809	2,706	-	3,381	8,142	5,195	-	0,123045	0,631330	0,193552

*Risksiz faiz oranı %0,085 alınmıştır.

Kaynak:

<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Piyasa+Verileri/ihale+Yontemi+ile+Satilan+Hazine+Bonolari+ve+Devlet+Tahvilleri/>

Tablo 5.1. ile verilen sonuçlar incelendiğinde KM olan Konno-Yamazaki modelinin çözüm sonuçlarına göre 50 hisse senedinden 12 tanesine atama yapıldığı gözlenmektedir. Bu model çözümüne göre beklenen getiri miktarı 0,123045 olup katlanması gereken riskin 0,631330 olduğu görülmektedir. BM1’de beklenen getiri miktarının 0,185432’a çıktığı buna bağlı olarak risk değerinin arttığı izlenmiştir. Burada yine 50 hisse senedinden 11’ine yatırım yapılması gerektiği ortaya çıkar. Her iki modelde farklı sayıda hisse senedine yatırım yapılması gerektiğinin yanı sıra model sonuçları incelendiğinde, hisse senetlerine yatırım yapılan oranların da değiştiği gözlenmiştir. İkinci bulanık model olan BM2’nin çözüm sonuçları incelendiğinde, alfa değeri arttıkça beklenen getiri ve risk değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Yatırım yapılacak hisse senetleri sayıları değişmektedir.

Modeller bazında yatırım yapılan hisse senetlerinin ve yatırım oranlarının farklılaştığı gözlenmektedir. Yatırım oranları incelendiğinde, KM en yüksek yatırımı X23 hisse senedine 22,913 oranında yapmıştır. Bu model toplamda 12 hisse senedine yatırım yapmış olup, en az oranda yatırımı X9 ile 1,052 oranında yapmıştır. BM1 X16 hisse senedine 23,119 oranında bir yatırım yapmış olup, en düşük yatırımı 1,999 ile X22’ye yapmış olmasına rağmen bu model çözümünde KM’den farklı olarak, X7 hisse senedine yatırım yapmamıştır. BM2 sonuçları incelendiğinde, $\alpha = 0,3$ için KM sonuçlarındaki aynı oranlar elde edilmiştir. Bununla birlikte α ’nın 0,4 ve daha büyük değerleri için hisse senedine yatırım oranlarının sabitlendiği görülmektedir.

Yatırımcılar riske karşı tutumlarına göre 3 sınıfa ayrılırlar bunlar riskten kaçınan, risk arayan ve riske karşı nötr yatırımcılardır. Tablo 5.1. ile verilen sharpe oranlarına göre riskten kaçınan yatırımcı KM ile aynı sharpe oranına sahip BM2 ($\alpha = 0,3 - \alpha = 0,9$) model sonucunu kullanarak yatırım yapabilirler. Bu sonuçlarda risk en düşük değere sahiptir ve buna bağlı olarak da sharpe oranı en küçüktür (0,193552). Risk arayan yatırımcı, sharpe oranı en yüksek (0,754843) olan SM ($\alpha = 0,1$) sonuçlarına göre yatırım yapmalıdır. Bu modelde risk ve getiri de en yüksek değere sahiptir. Riske karşı nötr olan yatırımcı ise, BM1, BM2 ($\alpha = 0,1 - \alpha = 0,3$) sonuçlarına ait herhangi birini kullanarak hisse senedi alımı yapabilirler.

Ayrıca BM2’de farklı alfa değerlerinde, beklenen getiri ve risk değerleri arasında 0,952’lik bir pozitif korelasyon olduğu gözlenmiştir. Pearson korelasyon değeri 0,05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$). Buna bağlı olarak beklenen getiri oranı yükseldikçe yatırımcının katlanacağı risk oranı artmaktadır.

Geliştirilen model sayesinde yatırımcılara farklı portföy seçenekleri oluşturulmuştur. Yatırımcılar bu seçenekleri inceleyerek beklenen getirilerini ve katlanmaları gereken risk

değerlerini de gözlemleyerek seçimler yapabilirler. Alternatif seçeneklere sahip olan yatırımcı kendi lehine olacak şekilde karar verebilme ayrıcalığına sahip olacaktır.

Konno-Yamazaki modelinin bulanık programlamaya dayanarak çözülen sonuçları incelemek amacıyla BM1 ve BM2 modellerinin parametrelerini oluşturan j . hisse senedinin t . dönem sonundaki getiri oranı rasgele üretilerek yeni problem setleri oluşturulmuştur. İlk olarak parametreleri, ortalaması 0 ve standart sapması 0,01 olan normal dağılımdan rasgele üretilen 15 problem seti (P1) ele alınmıştır. İkinci olarak yayılımın farklılaşmasının sonuçlara olan etkisini gözlemek amacıyla ikinci bir problem seti parametreleri ortalaması 0 ve standart sapması 0,05 olan normal dağılımdan rasgele üretilen 15 sette (P2) aynı parametre için üretim gerçekleştirilmiştir. Toplamda 30 farklı problem oluşturulmuştur. Bu 30 problem için kesin model (KM) sonuçları, BM1 sonuçları ve BM2 sonuçlarına ait (0,1) aralığındaki her alfa için 0,1 artış ele alınarak çözülen modellerin sonuçları Tablo 5.2. ve Tablo 5.3. ile verilmiştir. Buna göre toplamda 600 problem çözülmüştür. Tablo 5.2. ve Tablo 5.3. sırasıyla P1 ve P2 problem setlerine ait KM, BM1 ve BM2 modellerinin çözümü ile elde edilen beklenen getiri ve risk değerlerini göstermektedir. Ayrıca KM, BM1 ve BM2 modellerinin çözümü ile elde edilen her modelin 50 hisse senedinden kaç tanesine yatırım yapıldığını gösteren bilgiler Tablo 5.4. ile verilmiştir.

Tablo 5.2. ile verilen 15 farklı P1 problemlerine ait KM, BM1 ve BM2 modellerinin çözüm sonuçları incelendiğinde yatırımcıların katlanmaları gereken riskler karşılığında beklenen getiri miktarlarının farklılaştığı görülmektedir. KM sonuçlarına bakıldığında risk değeri 0 olan P1_14 ve P1_15 problemlerinde en büyük getiri 0,020844 ile P1_15 problemine aittir. Bu probleme ait BM1 ve BM2 modelleri ile aynı getiri ve risk değerleri elde edilmiştir. P1_1 problemi incelendiğinde KM için risk değeri 0,006392 olan yatırımın -0,010520 ile negatif bir getiriye sahip olduğu bir portföy oluşmuştur. Yatırımcı BM1 modeli ile elde edilen sonuçları kullanırsa yaklaşık aynı orana sahip olan 0,009236'lık bir riske katlanarak getiri oranını 0,025680'e yükseltebilmektedir. Aynı problem için BM2 modeli 0,015212 risk oranında getiriyi 0,052509'e yükselten bir portföy sunmuştur. Tüm sonuçlar incelendiğinde risk değerlerinin yükselmesi ile getiri oranlarının da yükseldiği görülmektedir.

Tablo 5.3. ile verilen 15 farklı P2 problemlerine ait KM, BM1 ve BM2 modellerinin çözüm sonuçları incelendiğinde benzer sonuçlar gözlenmektedir. Bu problemlerin parametreleri standart sapması 0,05 olan normal dağılımdan üretildiğinden yayılım daha büyük olup getiri ve risk değerlerinin mutlak değerce daha büyük değerler olduğu gözlenmiştir. Bu da beklenen bir sonuçtur.

P1 ve P2 problem setlerinin tüm sonuçları gözlemlendiğinde KM ile elde edilen sonuçlarda riski 0 olan ancak getirisi negatife düşen çözümler elde edilmiştir. Bu durum KM'in zayıflığı olarak nitelendirilebilir. Önerilen bulanık model bu zayıflığı ortadan kaldıran alternatif portföy seçenekleri ortaya koymakta bu nedenle önerilen model literatüre katkı sağlayıcı nitelikte olup gerçek hayat problemlerinde yatırımcılara daha kazançlı portföy seçenekleri önermektedir.



Tablo 5.2. P1 Test problemlerinin KM, BM1 ve BM2 Çözümleri

P. No	KM		Alfa	BM1		BM2	
	Getiri	Risk		Getiri	Risk	Getiri	Risk
P1_1	-0,010520	0,006392	0,949126	0,025680	0,009236	MaxG: 0,052509 / α :0,1 MinG: -0,067511 / α :0,6	MaxR: 0,015212 / α :0,1 MinR: 0,005732 / α :0,6
P1_2	-0,004958	0,000001	0,641906	-0,004775	0,000007	MaxG: 0,040991 / α :0,1 MinG: -0,004958 / α :0,3	MaxR: 0,008097 / α :0,1 MinR: 0,000001 / α :0,3
P1_3	0,012677	0,007961	0,990951	0,025005	0,008326	MaxG: 0,041429 / α :0,1 MinG: 0,012677 / α :0,3	MaxR: 0,013055 / α :0,1 MinR: 0,007961 / α :0,3
P1_4	0,056018	0,000003	1,000	0,056018	0,000003	MaxG: 0,065200 / α :0,1 MinG: 0,056018 / α :0,2	MaxR: 0,000003 / α :0,1 MinR: 0,000003 / α :0,2
P1_5	-0,010866	0,001655	0,898798	0,023400	0,003338	MaxG: 0,056324 / α :0,1 MinG: -0,097914 / α :0,7	MaxR: 0,009180 / α :0,1 MinR: 0,000209 / α :0,7
P1_6	-0,026108	0,003252	0,982972	0,007266	0,003806	MaxG: 0,027930 / α :0,1 MinG: -0,038011 / α :0,4	MaxR: 0,004726 / α :0,1 MinR: 0,003209 / α :0,4
P1_7	0,020558	0,001375	0,827735	0,044669	0,003746	MaxG: 0,078091 / α :0,1 MinG: 0,013868 / α :0,4	MaxR: 0,010540 / α :0,1 MinR: 0,000943 / α :0,4
P1_8	0,011150	0,001818	0,935016	0,036878	0,002995	MaxG: 0,057400 / α :0,1 MinG: -0,024111 / α :0,6	MaxR: 0,003986 / α :0,1 MinR: 0,001091 / α :0,6
P1_9	0,021982	0,000881	0,782287	0,043889	0,002818	MaxG: 0,082669 / α :0,1 MinG: 0,006820 / α :0,4	MaxR: 0,008407 / α :0,1 MinR: 0,000562 / α :0,4
P1_10	0,028341	0,001664	0,933916	0,051575	0,002769	MaxG: 0,074446 / α :0,1 MinG: 0,028341 / α :0,3	MaxR: 0,006369 / α :0,1 MinR: 0,001664 / α :0,3
P1_11	-0,037220	0,000911	0,764137	-0,015233	0,003081	MaxG: 0,027873 / α :0,1 MinG: -0,064566 / α :0,5	MaxR: 0,014511 / α :0,1 MinR: 0,000002 / α :0,5
P1_12	0,020656	0,000001	0,665525	0,032181	0,000009	MaxG: 0,075107 / α :0,1 MinG: 0,009841 / α :0,4	MaxR: 0,006583 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,4
P1_13	0,029360	0,008476	0,997434	0,043581	0,008693	MaxG: 0,062779 / α :0,1 MinG: 0,029360 / α :0,3	MaxR: 0,009746 / α :0,1 MinR: 0,008476 / α :0,3
P1_14	-0,005994	0,000000	0,978577	-0,005994	0,000000	MaxG: 0,014174 / α :0,1 MinG: -0,005994 / α :0,2	MaxR: 0,004537 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,2
P1_15	0,020844	0,000000	1,000000	0,020844	0,000000	MaxG: 0,027493 / α :0,1 MinG: 0,020844 / α :0,2	MaxR: 0,000002 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,2

Tablo 5.3. P2 Test problemlerinin KM, BM1 ve BM2 Çözümleri

P. No	KM		Alfa	BM1		BM2	
	Getiri	Risk		Getiri	Risk	Getiri	Risk
P2_1	0,055410	0,032453	0,953786	0,224913	0,047445	MaxG: 0,347511 / α :0,1 MinG: -0,089853 / α :0,5	MaxR: 0,073681 / α :0,1 MinR: 0,030272 / α :0,5
P2_2	0,220466	0,003587	0,984049	0,231930	0,004159	MaxG: 0,327282 / α :0,1 MinG: 0,220466 / α :0,2	MaxR: 0,016202 / α :0,1 MinR: 0,003587 / α :0,2
P2_3	0,151225	0,000003	0,994881	0,151225	0,000003	MaxG: 0,206983 / α :0,1 MinG: 0,151225 / α :0,2	MaxR: 0,000003 / α :0,1 MinR: 0,000003 / α :0,2
P2_4	-0,006493	0,000000	1,000000	-0,006493	0,000000	MaxG: -0,006493 / α :0,1 MinG: -0,006493 / α :0,1	MaxR: 0,000000 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,1
P2_5	-0,141931	0,000000	0,721506	-0,141931	0,000000	MaxG: 0,086047 / α :0,1 MinG: -0,141931 / α :0,3	MaxR: 0,021731 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,3
P2_6	-0,112302	0,010778	0,844530	0,011046	0,027542	MaxG: 0,167668 / α :0,1 MinG: -0,255621 / α :0,5	MaxR: 0,058771 / α :0,1 MinR: 0,002251 / α :0,5
P2_7	-0,308194	0,010213	0,884334	-0,170601	0,022033	MaxG: -0,028236 / α :0,1 MinG: -0,607555 / α :0,7	MaxR: 0,050266 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,7
P2_8	-0,004971	0,000000	1,000000	-0,004971	0,000000	MaxG: 0,000150 / α :0,1 MinG: -0,004971 / α :0,2	MaxR: 0,000001 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,2
P2_9	-0,151982	0,000000	1,000000	-0,151982	0,000000	MaxG: -0,080423 / α :0,1 MinG: -0,151982 / α :0,2	MaxR: 0,010455 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,2
P2_10	-0,194647	0,000005	0,988131	-0,100024	0,000006	MaxG: 0,039764 / α :0,1 MinG: -0,194647 / α :0,2	MaxR: 0,002952 / α :0,1 MinR: 0,000005 / α :0,2
P2_11	0,186908	0,000000	1,000000	0,186908	0,000000	MaxG: 0,186908 / α :0,1 MinG: 0,186908 / α :0,1	MaxR: 0,000000 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,1
P2_12	-0,154844	0,005046	0,954796	-0,117084	0,007329	MaxG: 0,016811 / α :0,1 MinG: -0,154844 / α :0,2	MaxR: 0,026602 / α :0,1 MinR: 0,005046 / α :0,2
P2_13	0,420299	0,000000	1,000000	0,420299	0,000000	MaxG: 0,420299 / α :0,1 MinG: 0,420299 / α :0,1	MaxR: 0,000000 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,1
P2_14	-0,030882	0,000000	1,000000	-0,030882	0,000000	MaxG: 0,031936 / α :0,1 MinG: -0,030882 / α :0,2	MaxR: 0,013167 / α :0,1 MinR: 0,000000 / α :0,2
P2_15	-0,347212	0,008543	0,876564	-0,225078	0,019099	MaxG: -0,093581 / α :0,1 MinG: -0,544747 / α :0,6	MaxR: 0,066992 / α :0,1 MinR: 0,002245 / α :0,6

Tablo 5.4. Yatırım yapılan hisse senedi sayıları

P. No	KM	BM1	BM2						
			$\alpha=0,1$	$\alpha=0,2$	$\alpha=0,3$	$\alpha=0,4$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,6$	$\alpha=0,7-0,9$
P1_1	20	18	19	20	20	21	21	20	20
P1_2	22	22	20	22	22	22	22	22	22
P1_3	19	19	18	19	19	19	19	19	19
P1_4	22	23	23	22	22	22	22	22	22
P1_5	22	21	20	21	22	21	22	22	21
P1_6	21	21	22	21	21	20	20	20	20
P1_7	21	22	21	22	21	20	20	20	20
P1_8	21	20	21	20	21	22	22	21	21
P1_9	22	22	21	22	22	21	21	21	21
P1_10	21	21	22	21	21	21	21	21	21
P1_11	22	21	18	21	22	23	22	22	22
P1_12	23	22	20	21	23	23	23	23	23
P1_13	19	18	20	20	19	19	19	19	19
P1_14	23	23	22	23	23	23	23	23	23
P1_15	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P2_1	21	21	19	22	21	20	20	20	20
P2_2	21	22	22	21	21	21	21	21	21
P2_3	22	22	23	22	22	22	22	22	22
P2_4	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P2_5	23	23	21	21	23	23	23	23	23
P2_6	22	21	19	21	22	22	21	21	21
P2_7	22	21	20	21	22	22	22	22	22
P2_8	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P2_9	23	23	20	23	23	23	23	23	23
P2_10	22	23	22	23	22	22	22	22	22
P2_11	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P2_12	20	21	21	20	20	20	20	20	20
P2_13	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P2_14	23	23	22	23	23	23	23	23	23
P2_15	22	22	20	22	22	22	22	21	21

Tablo 5.4. ile tüm problemler bazında modellere ait yatırım yapılan hisse senetleri sayıları verilmiştir. Hangi hisse senede ne oranda yatırım yapıldığı model çözümlerinin sonucunda bulunmuş ancak 600 probleme ait bu sonuçların tablolar halinde sunulması mümkün olmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde, problemlerin aynı sayıda hisse senedine yatırım yapmayı önermesine rağmen modeller değişikçe yatırım yapılan oranlarda değişiklikler olabilmektedir. Aynı sayıda hisse senedi olmasına rağmen bu hisse senetleri de farklı hisse senetleri olabilmektedir. Tablo 5.4 ile verilen BM2 çözüm sonuçlarına göre, farklı α 'lar için yatırım yapılan hisse senedi sayılarının ortalamaları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Hata terimleri normal dağılıma uygunluk sağlamadığı için fark kontrolü olarak parametrik olmayan testlerden Kruskal Wallis testi uygulanmıştır ($p>0,05$). Normallik kontrolleri ise Kolmogorov Smirnov test istatistiği ile yapılmıştır.

Çalışmanın bu kapsamında tüm problemlere ait model sonuçları ve parametreleri incelenmiştir ve ortalama getiri oranlarının ortalamaları her bir problem için hesaplanmıştır. KM sonuçlarında negatif getirinin elde edildiği modellerde bu istatistiğin negatif değer aldığı gözlenmiştir. Ortalama ve standart sapmalar Tablo 5.5. ile verilmiştir.

Tablo 5.5. Ortalama getiri oranlarının ortalamaları ve standart sapmaları

P. No	Ortalama	Standart Sapma	P. No	Ortalama	Standart Sapma
P1_1	-0,000105	0,001410	P2_1	0,000554	0,006535
P1_2	-0,000149	0,001251	P2_2	0,000770	0,005599
P1_3	-0,000027	0,000987	P2_3	0,000030	0,004563
P1_4	0,000052	0,001343	P2_4	-0,002907	0,005399
P1_5	-0,000109	0,001503	P2_5	-0,002320	0,007116
P1_6	-0,000261	0,001209	P2_6	-0,001123	0,006263
P1_7	0,000206	0,001287	P2_7	-0,003082	0,006263
P1_8	0,000112	0,001035	P2_8	-0,002746	0,006146
P1_9	0,000220	0,001358	P2_9	-0,003552	0,006148
P1_10	0,000231	0,001149	P2_10	-0,003322	0,008322
P1_11	-0,000372	0,001456	P2_11	-0,001557	0,005326
P1_12	0,000207	0,001180	P2_12	-0,003032	0,007159
P1_13	0,000100	0,001180	P2_13	0,000013	0,007362
P1_14	-0,000378	0,001163	P2_14	-0,002109	0,005432
P1_15	-0,000279	0,001239	P2_15	-0,003472	0,005674

Çalışmanın ikinci kısmında, önerilen kararsız bulanık portföy optimizasyonu matematiksel modelinin gerçek bir uygulaması yapılmıştır. Borsa İstanbul (BIST 50)'da yer alan hisse senetlerinin her bir aylık dönem için 30 aya ait günlük kapanış değerleri alınarak, önerilen kararsız bulanık programlama model sonuçlarına bağlı olarak portföy seçenekleri belirlenmiştir.

Öncelikle KBM3' de Eşitlik (4.9-4.10) kısıtlarındaki üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için farklı k değerleri ve güven düzeyleri belirlenmiştir. Eşitlik (4.11- 4.13) ile verilen üyelik fonksiyonları kararsız bulanık risk değerlerine ait fonksiyonu tanımlamakta olup alternatif seçeneklerde tüm ayrıntıları görebilmek amacıyla (0-1) aralığında 0,1 artışla $k = 0,1; 0,2; \dots; 0,9$ değerleri için model çözümleri elde edilmiştir. Eşitlik (4.14) ile verilen üyelik fonksiyonu kararsız bulanık getiri değerlerinin fonksiyonu olup KBM3' de 0,9; 0,95 ve 0,99 olmak üzere üç farklı güven seviyesinde çalışılmıştır. Buna göre 30 ay için elde edilen çözümler Tablo 5.6.' da verilmiştir.

Tablo 5.6. Kararsız bulanık doğrusal programlama modeli sonuçları

A.No	$k = 0,1$				$k = 0,2$				$k = 0,3$			
	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS
A1	0,9015	0,0328	0,0107	18	0,8838	0,0309	0,0103	18	0,8628	0,0286	0,0098	18
A2	0,6060	-0,0048	0,0000	20	0,6058	-0,0048	0,0000	22	0,6059	-0,0048	0,0000	22
A3	0,9407	0,0306	0,0093	18	0,9189	0,0289	0,0090	18	0,8922	0,0269	0,0086	18
A4	1,0000	0,0591	0,0000	23	0,9818	0,0560	0,0000	22	0,9793	0,0560	0,0000	22
A5	0,8379	0,0280	0,0039	21	0,8223	0,0262	0,0037	21	0,8046	0,0242	0,0034	21
A6	0,9616	0,0166	0,0041	22	0,9459	0,0151	0,0040	22	0,9262	0,0133	0,0040	22
A7	0,7700	0,0471	0,0041	22	0,7515	0,0453	0,0038	22	0,7309	0,0433	0,0036	22
A8	0,8995	0,0428	0,0033	20	0,8795	0,0412	0,0032	20	0,8552	0,0393	0,0031	20
A9	0,7262	0,0455	0,0030	22	0,7078	0,0436	0,0028	22	0,6877	0,0415	0,0026	22
A10	0,8797	0,0564	0,0033	22	0,8642	0,0551	0,0031	22	0,8464	0,0535	0,0030	22
A11	0,7099	-0,0138	0,0032	21	0,6907	-0,0160	0,0030	21	0,6695	-0,0183	0,0028	21
A12	0,6237	0,0322	0,0000	22	0,6236	0,0322	0,0000	22	0,6235	0,0322	0,0000	22
A13	0,9807	0,0534	0,0091	19	0,9666	0,0521	0,0090	19	0,9486	0,0505	0,0090	19
A14	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23
A15	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23
A16	0,9207	0,2657	0,0524	18	0,9046	0,2576	0,0507	20	0,8818	0,2462	0,0496	21
A17	0,9111	0,2531	0,0061	22	0,9012	0,2488	0,0057	22	0,8901	0,2441	0,0053	22
A18	0,9936	0,1753	0,0000	23	0,9755	0,1690	0,0000	23	0,9721	0,1678	0,0000	23
A19	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23
A20	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23
A21	0,7895	0,0263	0,0301	20	0,7696	0,0168	0,0285	21	0,7464	0,0057	0,0267	21
A22	0,8339	-0,1483	0,0245	21	0,8139	-0,1578	0,0234	21	0,7900	-0,1693	0,0222	21
A23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23
A24	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23
A25	0,9226	-0,0633	0,0000	23	0,9166	-0,0671	0,0000	23	0,9121	-0,0699	0,0000	23
A26	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23
A27	0,8848	-0,0925	0,0098	21	0,8745	-0,0981	0,0091	21	0,8624	-0,1048	0,0084	21
A28	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23
A29	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23
A30	0,8144	-0,2108	0,0220	20	0,7999	-0,2171	0,0205	21	0,7812	-0,2252	0,0191	22

Tablo 5.6. (devam) Kararsız bulanık doğrusal programlama modeli sonuçları

A.No	$k = 0,4$				$k = 0,5$				$k = 0,6$			
	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS
A1	0,8377	0,0259	0,0093	18	0,8069	0,0226	0,0086	18	0,7685	0,0184	0,0077	18
A2	0,6057	-0,0048	0,0000	22	0,6056	-0,0048	0,0000	22	0,6054	-0,0048	0,0000	22
A3	0,8546	0,0241	0,0083	19	0,7930	0,0194	0,0082	19	0,7040	0,0127	0,0080	19
A4	0,9489	0,0560	0,0000	22	0,9703	0,0560	0,0000	22	0,9629	0,0560	0,0000	22
A5	0,7846	0,0218	0,0031	21	0,7600	0,0190	0,0028	21	0,7118	0,0135	0,0026	21
A6	0,9005	0,0109	0,0039	21	0,8655	0,0077	0,0038	21	0,8148	0,0030	0,0037	21
A7	0,7067	0,0409	0,0032	21	0,6759	0,0379	0,0029	21	0,6375	0,0341	0,0025	21
A8	0,8249	0,0369	0,0030	20	0,7860	0,0338	0,0028	20	0,7343	0,0297	0,0027	20
A9	0,6652	0,0391	0,0023	22	0,6400	0,0365	0,0020	22	0,6118	0,0336	0,0017	22
A10	0,8239	0,0515	0,0028	21	0,7953	0,0490	0,0025	21	0,7562	0,0456	0,0023	21
A11	0,6460	-0,0210	0,0025	21	0,6194	-0,0239	0,0022	22	0,5890	-0,0273	0,0019	22
A12	0,6235	0,0322	0,0000	22	0,6234	0,0322	0,0000	22	0,6224	0,0321	0,0000	23
A13	0,9251	0,0484	0,0089	19	0,8929	0,0455	0,0088	19	0,8458	0,0412	0,0086	18
A14	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23
A15	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23
A16	0,8528	0,2317	0,0481	21	0,8150	0,2128	0,0462	21	0,7628	0,1868	0,0438	22
A17	0,8777	0,2387	0,0048	22	0,8638	0,2328	0,0042	22	0,8465	0,2254	0,0036	21
A18	0,9447	0,1582	0,0000	23	0,9604	0,1637	0,0000	23	0,9507	0,1603	0,0000	23

A19	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23
A20	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23
A21	0,7194	-0,0072	0,0246	21	0,6879	-0,0223	0,0222	21	0,6490	-0,0410	0,0195	21
A22	0,7617	-0,1829	0,0207	21	0,7277	-0,1991	0,0190	21	0,6861	-0,2191	0,0169	21
A23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23
A24	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23
A25	0,9020	-0,0764	0,0000	23	0,8962	-0,0801	0,0000	23	0,8767	-0,0925	0,0000	23
A26	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23
A27	0,8470	-0,1132	0,0077	21	0,8294	-0,1228	0,0068	21	0,8089	-0,1341	0,0059	20
A28	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23
A29	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23
A30	0,7587	-0,2349	0,0175	22	0,7329	-0,2461	0,0157	22	0,6984	-0,2611	0,0137	22

Tablo 5.6. (devam) Kararsız bulanık doğrusal programlama modeli sonuçları

A.No	<i>k = 0,7</i>				<i>k = 0,8</i>				<i>k = 0,9</i>			
	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS	Alfa	Getiri	Risk	HSS
A1	0,6924	0,0102	0,0071	21	0,5363	-0,0066	0,0065	20	0,0407	-0,0414	0,0060	21
A2	0,6053	-0,0049	0,0000	22	0,6053	-0,0049	0,0000	22	0,6002	-0,0050	0,0000	22
A3	0,5396	0,0127	0,0080	19	0,2108	0,0127	0,0080	19	0,0000	0,0104	0,0048	19
A4	0,8949	0,0560	0,0000	22	0,8424	0,0560	0,0000	22	0,5181	0,0560	0,0000	22
A5	0,6450	0,0058	0,0023	22	0,5457	-0,0056	0,0018	22	0,3352	-0,0227	0,0013	22
A6	0,7362	-0,0043	0,0036	21	0,5879	-0,0180	0,0033	21	0,1141	-0,0380	0,0032	20
A7	0,5872	0,0291	0,0021	21	0,5246	0,0230	0,0016	21	0,4107	0,0151	0,0009	20
A8	0,6623	0,0240	0,0024	20	0,5513	0,0152	0,0020	21	0,2710	-0,0001	0,0015	22
A9	0,5798	0,0303	0,0014	22	0,5320	0,0253	0,0010	22	0,3922	0,0150	0,0006	22
A10	0,6932	0,0400	0,0020	22	0,5850	0,0305	0,0017	22	0,1040	0,0283	0,0017	21
A11	0,5545	-0,0311	0,0015	22	0,5151	-0,0355	0,0011	22	0,4532	-0,0405	0,0006	22
A12	0,6206	0,0319	0,0000	23	0,5863	0,0287	0,0000	23	0,5679	0,0270	0,0000	23
A13	0,7650	0,0339	0,0085	20	0,5992	0,0294	0,0085	19	0,0983	0,0294	0,0085	19
A14	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23	0,8577	-0,0060	0,0000	23
A15	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23	1,0000	0,0208	0,0000	23
A16	0,6865	0,1486	0,0402	22	0,5654	0,0881	0,0347	21	0,1597	-0,0505	0,0305	20
A17	0,7667	0,2205	0,0036	21	0,6000	0,2205	0,0036	21	0,1003	0,2205	0,0036	21
A18	0,8875	0,1512	0,0000	22	0,8312	0,1512	0,0000	22	0,5195	0,1512	0,0000	22
A19	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23	1,0000	-0,0065	0,0000	23
A20	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23	0,6656	-0,1419	0,0000	23
A21	0,5953	-0,0666	0,0163	22	0,5271	-0,0993	0,0124	22	0,4084	-0,1396	0,0075	22
A22	0,6294	-0,2462	0,0144	21	0,5414	-0,2884	0,0114	22	0,3536	-0,3519	0,0076	22
A23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23	1,0000	-0,0050	0,0000	23
A24	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23	0,9323	-0,1520	0,0000	23
A25	0,8474	-0,1111	0,0000	23	0,7998	-0,1414	0,0000	23	0,5403	-0,1946	0,0000	22
A26	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23	1,0000	0,1869	0,0000	23
A27	0,7669	-0,1548	0,0050	20	0,6004	-0,1548	0,0050	20	0,1008	-0,1548	0,0050	20
A28	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23	1,0000	0,4203	0,0000	23
A29	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23	0,9333	-0,0309	0,0000	23
A30	0,6438	-0,2848	0,0117	21	0,5479	-0,3264	0,0094	22	0,3314	-0,3928	0,0066	22

Tablo 5.6.' da her bir satır farklı bir aylık döneme ait günlük kapanış değerlerinin 30 farklı aya ait günlük kapanış değerlerini kullanarak oluşturulan model sonuçlarından elde edilen getiri, risk ve atama yapılan hisse senedi sayılarını (HSS) göstermektedir. Burada, A1 birinci aya ait bir aylık günlük kapanış değerlerini kullanarak oluşturulan modeli, A2 ikinci aya ait bir aylık günlük kapanış değerlerini kullanarak oluşturulan modeli temsil etmektedir. Dolayısıyla, 30. aya ait problem, A30 ile notasyonlandırılmıştır.

Örneğin A1 problemi için, $z_U = 0,0623$ ve $z_L = 0,0064$ olup, $k = 0,1$ ve $s = 1,2,3$ için kararsız bulanık risklere ait, kararsız bulanık elemanların üyelik fonksiyonları $\mu_{01}(y)$, $\mu_{02}(y)$, $\mu_{03}(y)$ ile gösterilmiştir ve Eşitlik (5.12-5.14) ile gösterilmiştir.

$$\mu_{01}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/22 < 0,0064 - (0,1 * 0,0064) \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/22] - (0,0064 - (0,1 * 0,0064))}{(0,0623 - 0,0064) - 0,1 * (0,0623 - 0,0064)}, & 0,0064 - (0,1 * 0,0064) \leq \sum_{t=1}^T y_t/22 \leq 0,0623 - (0,1 * 0,0623) \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/22 > 0,0623 - (0,1 * 0,0623) \end{cases} \quad (5.12)$$

$$\mu_{02}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/22 < 0,0064 \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/22] - 0,0064}{(0,0623 - 0,0064)}, & 0,0064 \leq \sum_{t=1}^T y_t/22 \leq 0,0623 \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/22 > 0,0623 \end{cases} \quad (5.13)$$

$$\mu_{03}(y) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T y_t/22 < 0,0064 + (0,1 * 0,0064) \\ 1 - \frac{[\sum_{t=1}^T y_t/22] - (0,0064 + (0,1 * 0,0064))}{(0,0623 - 0,0064) + 0,1 * (0,0623 - 0,0064)}, & 0,0064 + (0,1 * 0,0064) \leq \sum_{t=1}^T y_t/22 \leq 0,0623 + (0,1 * 0,0623) \\ 0, & \sum_{t=1}^T y_t/22 > 0,0623 + (0,1 * 0,0623) \end{cases} \quad (5.14)$$

A1 probleminde kararsız bulanık getirilere ait;

$s = 1$ için $U_{\rho M_0} = 0,0231$ ve $L_{\rho M_0} = -0,0441$

$s = 2$ için $U_{\rho M_0} = 0,0298$ ve $L_{\rho M_0} = -0,0508$

$s = 3$ için $U_{\rho M_0} = 0,0434$ ve $L_{\rho M_0} = -0,0644$

hesaplanmış ve kararsız bulanık elemanları oluşturulan üç üyelik fonksiyonu Eşitlik (5.15-5.17) ile verilmiştir.

$$\mu_{11}(r) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n r_j x_j < -0,0441 \\ 1 - \frac{0,0231 - \sum_{j=1}^n r_j x_j}{0,0231 + 0,0441}, & -0,0441 \leq \sum_{j=1}^n r_j x_j \leq 0,0231 \\ 1, & \sum_{j=1}^n r_j x_j > 0,0231 \end{cases} \quad (5.15)$$

$$\mu_{12}(r) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n r_j x_j < -0,0508 \\ 1 - \frac{0,0298 - \sum_{j=1}^n r_j x_j}{0,0298 + 0,0508}, & -0,0508 \leq \sum_{j=1}^n r_j x_j \leq 0,0298 \\ 1, & \sum_{j=1}^n r_j x_j > 0,0298 \end{cases} \quad (5.16)$$

$$\mu_{13}(r) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n r_j x_j < -0,0644 \\ 1 - \frac{0,0434 - \sum_{j=1}^n r_j x_j}{0,0434 + 0,0644}, & -0,0644 \leq \sum_{j=1}^n r_j x_j \leq 0,0434 \\ 1, & \sum_{j=1}^n r_j x_j > 0,0434 \end{cases} \quad (5.17)$$

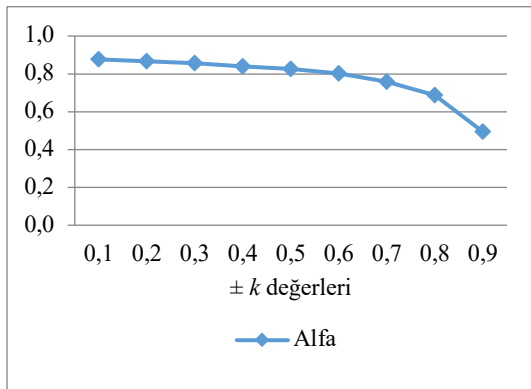
Tablo 5.6.' da A1 problem sonuçları incelendiğinde, amaç fonksiyonu değeri olan alfa 0,901517, getiri değeri 0,032779, risk değeri ise 0,010707 elde edilmiştir. Bu çözüme karşılık gelen 50 hisse senedi içerisinde yatırım yapılan hisse senedi sayısı 18 bulunmuştur. Ayrıca, A1 probleminde $k=0,2$ alınarak bulunan çözüm sonuçlarında, alfa değerinin 0,883769 seviyesine, getiri değerinin 0,030865 seviyesine, risk değerinin 0,010311 olup azalma gösterdiği izlenmiştir.

30 aylık veri üzerinden alınan tüm çözümlerin her k değerleri için elde edilen alfa, getiri ve risk değerlerinin ortalaması alınmıştır. Her k değeri için hesaplanan ortalama alfa, ortalama getiri ve ortalama risk değerleri Tablo 5.7. ile özetlenmiştir.

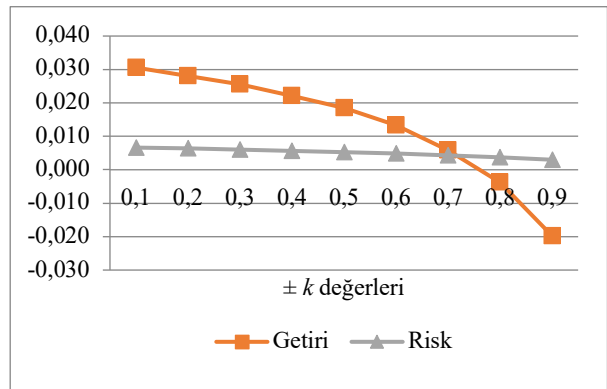
Tablo 5.7. k değerlerine göre alfa, getiri ve risk ortalamaları

	Ortalama Alfa	Ortalama Getiri	Ortalama Risk
$k = 0,1$	0,876566	0,030569	0,006627
$k = 0,2$	0,866240	0,028123	0,006333
$k = 0,3$	0,855254	0,025547	0,006033
$k = 0,4$	0,840001	0,022063	0,005693
$k = 0,5$	0,824540	0,018514	0,005299
$k = 0,6$	0,801075	0,013278	0,004837
$k = 0,7$	0,759612	0,005875	0,004338
$k = 0,8$	0,687455	-0,003822	0,003733
$k = 0,9$	0,493611	-0,019774	0,002998

k ' nin farklı değerleri için elde edilen çözümlerdeki alfa, getiri ve risk değerlerinin grafikleri sırasıyla Şekil 5.2. ve Şekil 5.3. ile verilmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde, k değeri arttıkça alfa, getiri ve risk değerlerinin birlikte azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.2. k değerlerinin alfaya göre değişimi



Şekil 5.3. k değerlerinin getiri ve risk oranlarına göre değişimi

Grafikler incelendiğinde, k değeri arttıkça alfa, getiri ve risk değerlerinin birlikte azaldığı görülmektedir. Bu durumda k değeri küçük alındığında, riskin yüksek ve getirinin yüksek olduğu yatırım seçenekleri bulunurken, k değeri büyük alındığında ise riskin düşük ve getirinin düşük seviyede olduğu yatırım seçenekleri elde edilmektedir.

Tablo 5.6.' da verilen tüm sonuçlar ve bu sonuçlardan hesaplanan ortalama getiri ve ortalama risk değerleri üzerinden çizilen grafikler birlikte değerlendirildiğinde, riskten kaçınan yatırımcı k değerinin yüksek olduğu ($k = 0,7$; $k = 0,8$ ve $k = 0,9$) model sonuçlarını kullanarak yatırım yapabilirler. Bu sonuçlarda risk ve getiri en düşük seviyesindedir. Risk arayan yatırımcı, k değerinin düşük alındığı ($k = 0,1$; $k = 0,2$ ve $k = 0,3$) model sonuçlarına göre yatırım yapabilirler. Bu portföy seçeneklerinde risk ve getiri en yüksek seviyesindedir. Riske karşı nötr olan yatırımcı ise, diğer k değerleri ($k = 0,4$; $k = 0,5$ ve $k = 0,6$) için elde edilen model sonuçlarını kullanabilirler.

6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, portföy optimizasyon problemlerinde belirsizliklerin ve bilgi eksikliklerinin daha gerçekçi bir şekilde ele alınabilmesi için bulanık programlama ve kararsız bulanık matematiksel programlama yaklaşımlarına dayanan yeni modeller geliştirilmiştir. Özellikle, finansal piyasalardaki değişkenlik ve belirsizliklerin yatırım kararlarını etkileyen temel unsurlar olması nedeniyle, bu çalışmada önerilen modellerin alternatif portföy çözümleri sunma ve risk yönetim süreçlerini kolaylaştırma yeteneği üzerinde durulmuştur.

İlk olarak, portföy optimizasyon probleminde Konno-Yamazaki modeli üzerinde çalışılmış ve bu modelin bulanık mantık çerçevesinde geliştirilmiş versiyonu sunulmuştur. Konno-Yamazaki modelinin geliştirilmiş bu versiyonu, ortalama mutlak sapmayı risk ölçütü olarak kullanarak belirsizlik içeren finansal ortamları daha iyi modellemiş ve yatırımcıların risk ve getiri değerleri arasındaki ilişkiyi daha doğru analiz etmelerine olanak tanımıştır. Özellikle, finansal değişkenlerin kesin değerlerle ifade edilemediği durumlarda, bulanık programlama tabanlı bu modelin, yatırımcılara daha güvenilir ve bilinçli kararlar alma sürecinde destek sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın ikinci önemli katkısı, kararsız bulanık portföy optimizasyon modeli önerisidir. Literatürde mevcut geleneksel modeller, finansal parametrelerdeki bilgi eksiklikleri ve belirsizlikleri yeterince ele almamakta ve bu durum yatırım kararlarında hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Geliştirilen kararsız bulanık matematiksel model ise, birden fazla üyelik derecesine sahip bulanık küme teorisine dayanmakta ve yatırımcılara, belirsizliklere karşı farklı senaryolar altında alternatif portföy seçenekleri sunmaktadır. Bu model, yatırımcıların kişisel tercihlerine ve risk algılarına bağlı olarak portföylerini daha esnek bir şekilde çeşitlendirmelerine ve yönetmelerine katkı sağlamaktadır.

Portföy yönetiminde risk ve getiri arasındaki denge, yatırımcıların karar süreçlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda, risk ve beklenen getiri arasında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu da yatırımcıların, daha yüksek getiri elde edebilmek için daha yüksek risk seviyelerini kabul etmeleri gerektiğini göstermektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen modeller, yatırımcılara risk toleranslarına uygun alternatif portföy seçenekleri sunarak, bilimsel verilere dayalı ve duygusal tepkilerden arındırılmış kararlar almalarını kolaylaştırmaktadır.

Finansal piyasaların karmaşık ve dinamik yapısı, zaman zaman fiyat hareketlerinin ve ekonomik göstergelerin belirsizliğine yol açmaktadır. Bu belirsizlikler, yatırımcıların karar

alma süreçlerinde hatalara neden olabileceği gibi, finansal risk yönetimi stratejilerinin etkisini de azaltabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen bulanık programlama ve kararsız bulanık modeller, finansal belirsizliklerin daha doğru bir şekilde yansıtılmasına ve yatırım kararlarının daha gerçekçi verilere dayandırılmasına olanak sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen bulanık programlama tabanlı Konno-Yamazaki modeli ve kararsız bulanık portföy optimizasyon modeli, finansal piyasaların belirsizlik içeren doğasına uygun çözüm önerileri sunmaktadır. Çalışmanın sunduğu yenilikçi yaklaşımlar sayesinde, yatırımcıların risk ve getiri arasındaki dengeyi daha bilinçli bir şekilde yönetmeleri sağlanmıştır. Özellikle, farklı risk toleranslarına sahip yatırımcılara yönelik esnek ve alternatif portföy çözümleri sunulması, hem bireysel yatırımcılar hem de büyük fonları yöneten profesyonel portföy yöneticileri için önemli bir katkı olarak değerlendirilmektedir.

Bu modellerin uygulanabilirliği, çalışma kapsamında geliştirilen 600 test problemi ile analiz edilmiş ve sonuçların genelleştirilebilir olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, çalışma literatürde hem teorik hem de uygulamalı finansal analizler açısından önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu modellerin farklı portföy problemlerine uygulanmasını ve özellikle dinamik piyasa koşullarına hızlı adapte olabilen versiyonlarının geliştirilmesini hedefleyebilir. Bu çalışmada geliştirilen modellerin, yatırımcıların belirsizlikler karşısındaki yaklaşımlarına göre portföy tercihlerini optimize etmelerine olanak sağlayan etkili ve yenilikçi araçlar sunduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede, yatırımcıların karmaşık finansal piyasa koşullarında bilinçli ve güvenilir kararlar almaları kolaylaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] H. M. Markowitz, "Portfolio selection," *The Journal of Finance*, vol. 7 no.1, pp.77-91, 1952.
- [2] H. M. Markowitz, *Portfolio selection: Efficient Diversification of Investments*, New York: Wiley, 1959.
- [3] F. W. Sharpe, "Capital asset prices: A Theory of market equilibrium under conditions of risk," *The Journal of Finance*, vol. 19, pp.425-442, 1964.
- [4] F. Black, M. Scholes, "The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency," *The Journal of Finance*, vol. 27 no.2, pp.399-417, 1972.
- [5] R. C. Merton, "An intertemporal capital asset pricing model," *The Econometric Society*, vol. 41 no.5, pp.867-887, 1973.
- [6] H. Konno, H. Waki, A. Yuuki, "Portfolio optimization under lower partial risk measures," *Asia-Pacific Financial Markets*, vol. 9, pp.127-140, 2002.
- [7] H. Konno, H. Yamazaki, "Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market," *Manage. Sci.*, vol. 37 no.5, pp.519-531, 1991.
- [8] H. Konno, H. Shirakawa, H. Yamazaki, "A Mean-Absolute Deviation-Skewness Portfolio Optimization Model," *Ann. Oper. Res.*, vol. 45, pp.205-220, 1993.
- [9] H. Konno, H. Wijayanayake, "Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model Under Transaction Costs," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol. 42 no.4, pp.422-435, 1999.
- [10] F. Kardiyan, "Portföy Optimizasyonunda Ortalama Mutlak Sapma Modeli Ve Markowitz Modelinin Kullanımı Ve İmkb Verilerine Uygulanması," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 13 no. 2, pp.335-350, 2008.

- [11] P. Zhang, L. Yu, "The Optimization on the Multiperiod Mean-VaR Portfolio Selection in Friction Market," *Advances in Intelligent and Soft Computing*, Springer, Berlin, Heidelberg, vol. 2, pp.329-335, 2011.
- [12] Y. Moon, T. Yao, "A Robust Mean Absolute Deviation Model For Portfolio Optimization," *Comput. Oper. Res.*, vol. 38 no. 9, pp. 1251-1258, 2011.
- [13] G. Kasenbacher, J. Lee, K. Euchukanonchai "Mean-Variance vs. Mean-Absolute Deviation: A Performance Comparison of Portfolio Optimization Models," Thesis, University of British Columbia, Canada, 2017.
- [14] Y. Liu, Z. Zhang, "Mean-Absolute Deviation Optimization Model for Hedging Portfolio Selection Problems," in *2009 ETP International Conference on Future Computer and Communication*, Wuhan, China, 76-79, 2009.
- [15] J. Hwang, H. J. Kim, J. Park, "Managing Risks In An Open Computing Environment Using Mean Absolute Deviation Portfolio Optimization," *Future Generation Computer Systems*, vol. 26 no. 8, pp. 1381-1390, 2010.
- [16] K. Sukono, E. Carnia, "Portfolio Optimization Of The Mean-Absolute Deviation Model Of Some Stocks Using The Singular Covariance Matrix," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8 no. 3, pp. 7818-7822, 2019.
- [17] S. Chaayakan, "Solving Interval-Valued Returns Mean Absolute Deviation Portfolio Selection Model Under Basis Stability," Thesis, Chulalongkorn University, Thailand, 2019.
- [18] Ö. Büberkökü, "Borsa Yatırım Fonlarına Dayalı Statik Ve Dinamik Portföy Optimizasyon Analizleri," *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 39 no. 4, pp. 561-579, 2021.
- [19] R. Sehgal, P. Jagadesh, "Data-Driven Robust Portfolio Optimization With Semi Mean Absolute Deviation Via Support Vector Clustering," *Expert Systems with Applications*, vol. 224 no. 120000, 2023.

- [20] Z. Hosseini-Nodeh, R. Khanjani-Shiraz, P. M. Pardalos, "Portfolio Optimization Using Robust Mean Absolute Deviation Model: Wasserstein Metric Approach," *Finance Research Letters*, vol. 54 no. 103735, 2023.
- [21] M. Anugrahyu, U. Azmi, P. M. Pardalos, "Stock Portfolio Optimization Using Mean-Variance And Mean Absolute Deviation Model Based On K-Medoids Clustering By Dynamic Time Warping," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, vol. 20 no. 1, 2023.
- [22] J. F. Bello, E. S. Taiwo, I. Adinya, "Modified Models For Constrained Mean Absolute Deviation Portfolio Optimization," *International Journal of Mathematical Sciences and Optimization: Theory and Applications*, vol. 10 no. 1, 2024.
- [23] F. Black, R. Litterman, "Global Portfolio Optimization," *Financial Analysts Journal*, vol. 48 no. 5, pp. 28-43, 1992.
- [24] E. F. Fama, K. R. French "The Cross-Section of Expected Stock Returns," *The Journal of Finance*, vol. 47 no. 2, 1992.
- [25] O. Kocadağlı, N. Cinemre, "Bulanık matematiksel programlama yaklaşımıyla portföy oluşturulması," in *YA/EM XXVI. Ulusal Kongresi*, Kocaeli-Türkiye, 2006.
- [26] Y. Fang, K. K. Lai, S. Y. Wang, "Portfolio rebalancing model with transaction costs based on fuzzy decision theory," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 175 no. 2, pp. 879-893, 2006.
- [27] N. Bozdağ, H. Türe, "Bulanık doğrusal programlama ve İMKB üzerine bir uygulama," *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 10 no. 1, pp. 1-18, 2008.
- [28] H. Ryoo, "A compact mean-variance-skewness model for large-scale portfolio optimization and its application to the NYSE," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 58 no. 4, pp. 505-515, 2007.

- [29] X. Huang, "Portfolio selection with fuzzy returns," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 18 no. 4, pp. 383–390, 2007.
- [30] X. Huang, "Mean-semivariance models for fuzzy portfolio selection," *J. J. Comput. Appl. Math.*, vol. 217 no. 1, pp. 1–8, 2008.
- [31] G. Chen, X. Liao, S. Wang, "Acutting plane algorithm for MV portfolio selection model," *Appl. Math. Comput.*, vol. 215 no. 4, pp. 1456–1462, 2009.
- [32] X. Li, Z. Qin, L. Yang, "A chance-constrained portfolio selection model with risk constraints," *Appl. Math. Comput.*, vol. 217 no. 2, pp. 949–951, 2010.
- [33] S. Barak, M. Abessi, M. Modarres, "Fuzzy turnover rate chance constraints portfolio model," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 228 no. 1, pp. 141–147, 2013.
- [34] W. Chen, S. S. Li, J. Zhang, M. Mehlawat, "A comprehensive model for fuzzy multi-objective portfolio selection based on DEA cross-efficiency model," *Soft Comput.*, vol. 24, pp. 2515-2526, 2020.
- [35] K. Subulan, "Yeni bir yetenek tabanlı üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için çok amaçlı bir matematiksel programlama modeli," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 40 no.1, pp. 365-380, 2024.
- [36] J. Watada, "Fuzzy portfolio selection and its applications to decision making," *Tatra Mountains Mathematical Publications*, vol. 13, pp. 219-248, 1997.
- [37] M. A. Parra, A. B. Terol, M. V. R. Uri'a, "A fuzzy goal programming approach to portfolio selection," *European Journal of Operational Research*, vol. 133, pp. 287-297, 2001.
- [38] C. Lin, B. Tan, P. J. Hsieh, "Application of the fuzzy weighted average in strategic portfolio management," *Decision Sciences*, vol. 36, pp. 489-511, 2005.

- [39] E. E. Ammar, "On solutions of fuzzy random multiobjective quadratic programming with applications in portfolio problem," *Information Sciences*, vol. 178 no. 2, pp. 468-484, 2007.
- [40] X. Huang, "Mean-risk model for uncertain portfolio selection," *Fuzzy Optimization Decision Making*, vol. 10 no. 1, pp. 71-89, 2011.
- [41] X. Huang, L. Qiao, "A risk index model for multi-period uncertain portfolio selection," *Information Sciences*, vol. 217, pp. 108-116, 2012.
- [42] J. Li, J. Xu, "Multi-objective portfolio selection model with fuzzy random returns and a compromise approach-based genetic algorithm," *Information Sciences*, vol. 220, pp. 507-521, 2013.
- [43] K. T. Atanassov, "Intuitionistic fuzzy sets," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 20 no. 1, pp. 87-96, 1986.
- [44] V. Torra, "Hesitant fuzzy sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 25 no. 6, pp. 529-539, 2010.
- [45] V. Torra, Y. Narukawa, "On hesitant fuzzy sets and decision," in: *The 18th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Jeju Island, Korea, 2009, p. 1378-1382.
- [46] R. M. Rodríguez, L. Martínez, F. Herrera, "Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 20 no. 1, pp. 109-119, 2012.
- [47] B. Zhu, Z. Xu, M. Xia, "Dual hesitant fuzzy sets," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 1, pp. 1-13, 2012.
- [48] Z. Hao, Z. Xu, H. Zhao, Z. Su, "Probabilistic dual hesitant fuzzy set and its application in risk evaluation," *Knowledge-Based Systems*, vol. 127, pp. 16-28, 2017.
- [49] W. Zeng, Y. Xi, Q. Yin, P. Guo, "Weighted dual hesitant fuzzy set and its application in group decision making," *Neurocomputing*, vol. 458, pp. 714-726, 2021.

- [50] A. Ceylan, T. Korkmaz, *Borsada Uygulamalı Portföy Yönetimi*, Ekin Kitabevi Yayınları, 3. Baskı, Bursa, 1998.
- [51] İ. E. Üstünel, *Durağan Portföy Analizi ve İMKB Verilerine Uygulanması*, Ankara, Türkiye: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası, 2000.
- [52] M. Bolak, *Sermaye Piyasası Menkul Kıymetler ve Portföy Analizi*, İstanbul, Türkiye: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 1991.
- [53] M. G. Tosun, “Bulanık Ve Stokastik Programlamaya Dayalı Risk Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [54] R. Hagin, D. Jones-Irvin, *Modern Portfolio Theory*, New York, USA: Homewood, 1979, pp. 95.
- [55] Ö. Akmut, *Sermaye Piyasası Analizleri ve Portföy Yönetimi*, Ankara, Türkiye, 1989.
- [56] C. Sarıkamış, *Sermaye Pazarları*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1980, pp. 149.
- [57] H. Kanalcı, *Hisse Senedi Fiyatlarının Tespiti ve Tesir Eden Faktörler*, İstanbul, Türkiye: SPK Yayınları, Yayın No:77, 1997.
- [58] Amling, Frederick, *Investments: An Introduction to Analysis and Management*, Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall Inc. , 1978, pp.32.
- [59] M. Uğuz, *Menkul Kıymet Seçimi Ve Yatırım Yönetimi*, İstanbul, Türkiye: Mali ve Ekonomik Yayınlar, 1990.
- [60] İ. Kanyılmaz, *Risk Ve Menkul Kıymetler Yatırım Tahlilleri Ders Notları*, İstanbul, Türkiye: Alfa Yayınları, 1992.
- [61] İ. Meriç, “Enflasyon Koşullarında Taşınır Kıymet Yatırımları,” *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, vol. 8 no. 2, pp. 121, 1979.

- [62] R. Aşıkoğlu, *Sermaye Piyasası Aracı Olarak Enflasyon Ortamında Tahvilleri Değerleme*, Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi Basımevi, 1983.
- [63] J. C. Francis, *Investments Analysis And Management*, New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 1972.
- [64] T. Y. Ayan, A. Akay, “Tahmine Dayalı Portföy Optimizasyonu: Modern Portföy Teorisinde Risk Ve Beklenen Getiri Kavramlarına Alternatif Bir Yaklaşım,” *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, EYİ Özel Sayısı, 2014.
- [65] S. Bekçioğlu, *Portföy Yaklaşımları ve Markowitz Portföy Yaklaşımının Türk Pay Senedi Piyasasına Uygulanması*, Ankara, Türkiye, 1984.
- [66] Ö. Demirtaş, Z. Güngör, “Portföy Yönetimi Ve Portföy Seçimine Yönelik Uygulama,” *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, vol. 1 no. 2, pp. 103-109, 2004.
- [67] I. Y. Gok, S. Durunay, U. Uzunoğlu “Co-movement dynamics of sustainability indices: investigating the diversification opportunities through FTSE4Good index family and Borsa Istanbul sustainability index,” *Social Responsibility Journal*, vol. 16 no. 8, pp. 1475-1487, 2020, doi: 10.1108/SRJ-02-2019-0073
- [68] M. İnam, *Türkiye’de Menkul Kıymet Piyasası ve Yatırım Alternatiflerinin Genel Analizi*, Ankara, Türkiye: Gayret Matbaası, 1987.
- [69] I. O. Ertuna, *Yatırım ve Portföy Analizi (Bilgisayar Uygulama Örnekleriyle)*, İstanbul, Türkiye: Boğaziçi Üniversitesi, 1991.
- [70] F. Özçam, *Teknik Analiz ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsası*, İstanbul, Türkiye: Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları, 1996.
- [71] B. İlhan, “Hisse Senedi Analiz Yöntemleri, Portföy Analizi ve Bir Uygulama,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1991.

- [72] G. Karaşin, *Sermaye Piyasası Analizleri*, Ankara, Türkiye: Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları, 1986.
- [73] S. A. Gökbel, *Süre Temelli Portföyler ve İMKB’ de Uygulanabilirliği*, İstanbul, Türkiye: Sermaye Piyasası Kurulu Yayınları, 2003.
- [74] G. J. Alexander, W. F. Sharpe, J. V. Bailey, *Fundamentals of Investments*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1993.
- [75] E. J. Elton, M. J. Gruber, *Modern Portfolio Theory And Investment Analysis*, Canada: John Wiley & Sons, 1995.
- [76] E. Birgili, G. Tuna, “Markowitz ve Tek Endeks Modellerinin Uygulanması: İMKB 30 Endeksi Üzerinde Karşılaştırmalı Analiz,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 15 no. 3, 2010.
- [77] Hee-Kyung, K. Bark, “Risk, return, and equilibrium in the emerging markets: Evidence from the Korean stock market,” *Journal of Economics and Business*, vol. 43 no. 4, 1991, pp. 353-362.
- [78] H. Dağlı, *Sermaye Piyasası ve Portföy Analizi*, Trabzon, Türkiye: Derya Kitabevi, 2004.
- [79] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information And Control*, vol. 8 no. 3, 1965, pp. 338-353.
- [80] B. Kosko, S. Isaka, “Fuzzy logic,” *Scientific American*, vol. 269 no. 1, 1993, pp. 76-81.
- [81] R. E. Toramanoğlu, “Finansal performans değerlendirme ve hisse senedi getiri ilişkisi : tereddütlü bulanık Ahp temelli yaklaşım,” Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [82] G. Candan, “Esnek Üretim Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık Yöntemleri ile Çözülmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.

- [83] Ç. Elmas, *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2003.
- [84] G. Klir, B. Yuan, *Fuzzy Sets And Fuzzy Logic*, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1995.
- [85] A. K. Verma, A. Srividya, R. S. P. Gaonkar, *Fuzzy-Reliability Engineering Concepts and Applications*, Mumbai, India: Narosa Publishing House, 2007.
- [86] W. Pedrycz, F. Gomide, *An Introduction to Fuzzy Sets Analysis and Design*, Cambridge, England: MIT Press, 1998.
- [87] Z. Şen, *Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri*, İstanbul, Türkiye: Bilge Kültür Sanat Yayınları, 2001.
- [88] Young-Jou. Lai, Ching-Lai. Hwang, *Fuzzy mathematical programming*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer Verlag, 1992.
- [89] R. T. Marler, J. Yang, S. S. Rao, “A Fuzzy Approach for Determining a Feasible Point in a Constrained Problem,” *ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference*, in San Diego, CA, Jul. 2004, pp. 115–124.
- [90] G. F. Klir, T. A. Folger, *Fuzzy Sets, Uncertainty and Information*, USA: Prentice – Hall Inc., 1987.
- [91] T. J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2009.
- [92] D. K. Atalay, “Çok Amaçlı Stokastik Programlama Problemine Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı,” Doktora Tezi, İstatistik Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [93] S. J. Chen, Chih-L.Hwang, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications- Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer Verlag, 1992.

- [94] M. B. Karan, *Yatırım Analizi ve Portföy Yönetimi*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2001.
- [95] B. YILDIZ, “Oran Analizinde Bulanık Mantık Kullanımı: Amprik Bir Çalışma,” *World of Accounting Science*, vol. 10 no. 2, 2008.
- [96] R. E. Bellman, L. A. Zadeh, “Decision Making in a Fuzzy Environment,” *International Journal of Management Science*, vol. 17, pp.141-164, 1970.
- [97] B. K. Hansen, “Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems,” Term Paper for Fuzzy Coursa at Technical University of Nova Scotia, 1996.
- [98] O. Türkbey, “Makina Sıralama Problemlerinde Çok Amaçlı Bulanık Küme Yaklaşımı,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 18, no. 2, pp.63-77, 2003.
- [99] T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, *Fuzzy systems theory and its applications*, San Diego, USA: Academic Pres Inc., 1992, pp. 268.
- [100] M. Xia, Z. Xu, “Hesitant Fuzzy Information Aggregation in Decision Making,” *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 53, no. 3, pp. 395-407, 2011.
- [101] Z. Xu, M. Xia, “On Distance And Correlation Measures of Hesitant Fuzzy Information,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 25, no. 5, pp. 410-425, 2011.
- [102] H. Konno, H. Waki, A. Yuuki, “Portfolio optimization under lower partial risk measures,” *Asia-Pacific Financial Markets*, vol. 9, pp. 127-140, 2002.
- [103] N. Chen, Z. Xu, M. Xia, “Correlation Coefficients of Hesitant Fuzzy Sets and Their Applications to Clustering Analysis,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 34, no. 4, pp. 2197-2211, 2013.

- [104] H. Liao, Z. Xu, "Extended Hesitant Fuzzy Hybrid Weighted Aggregation Operators and Their Application in Decision Making," *Soft Computing*, vol. 19, no. 9, pp. 2551-2564, 2015.
- [105] B. Farhadinia, "Multiple criteria decision-making methods with completely unknown weights in hesitant fuzzy linguistic term setting," *Knowledge-Based Systems*, vol. 93, pp. 135-144, 2016.
- [106] M. Ranjbar, S. Effati, A. V. Kamyad, "T-operators in hesitant fuzzy sets and their applications to fuzzy rule-based classifier," *Applied Soft Computing*, vol. 62, pp. 423-440, 2018.
- [107] R. M. Rodriguez, Z. S. Xu, L. Martinez, "Hesitant fuzzy information for information fusion in decision making," *Information Fusion*, vol. 42, pp. 62-63, 2018.
- [108] S. P. Wan, Y. L. Qin, J. Y. Dong, "A hesitant fuzzy mathematical programming method for hybrid multi-criteria group decision making with hesitant fuzzy truth degrees," *Knowledge-Based Systems*, vol. 138, pp. 232-248, 2017.

