STOKASTİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU: İMKB'DE BİR UYGULAMA

Elçin TİMUR ÇAKMAK

Yüksek Lisans Tezi

Eskişehir, 2008

STOKASTİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU: İMKB'DE BİR UYGULAMA

ELÇİN TİMUR ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İşletme Anabilim Dalı
Danışman: Yrd.Doç.Dr.Nesrin Alptekin

Eskişehir
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Haziran 2008

YÜKSEK LİSANS TEZ ÖZÜ

STOKASTİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU: İMKB'DE BİR UYGULAMA

Elçin TİMUR ÇAKMAK
İşletme Anabilim Dalı
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mayıs 2008
Danışman: Yrd.Doç.Dr.Nesrin ALPTEKİN

Menkul kıymet portföyü farklı yatırım kategorileri arasından seçim yapılmasını sağlayan sistematik bir yöntemdir. Bu yöntem, yatırım yapılacak menkul kıymetlerden bir portföy oluşturmak için en iyi yöntemin kullanılmasını amaçlamaktadır. Menkul kıymet tahsisi riskin ve portföyün getirisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Menkul kıymetlerin gelecekte alabileceği değerler tam olarak tahminlenememekte; ancak tesadüfi ya da belirsiz olarak ele alınabilmektedir. Bu çalışmada, menkul kıymet portföyü oluşturmak için optimal çözümü bulmak amacıyla İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'ndan (İMKB) Ocak - Nisan 2008 tarihleri arasındaki hisse senetlerinin günlük verileri kullanılmıştır. Seçilen farklı hisse senetleri için farklı yatırımcı tipleri göz önüne alınarak altı farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoların çözümlenmesiyle maksimum getirinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Stokastik Programlama, Senaryo Türetimi, Senaryo Ağaçları, Portföy Optimizasyonu

ABSTRACT

Asset allocation is a systematic method used to make an investment between different investment categories. It aims to set the best technique to allocate the investable assets into different asset classes. The asset allocation decision determines the ultimate risk and return of a portfolio. However, the future cannot be perfectly forecasted but instead it should be considered random or uncertain. In this paper, daily data of the stock yields obtained from Istanbul Stock Exchange (ISE) between January - April 2008 for the application of the asset allocation problem. Considering different types of investors, six different scenarios are built for various stocks, and it is aimed to have the maximum profit by solving these scenarios.

Keywords: Stochastic Programming, Scenario Generation, Scenario Trees, Portfolio Optimization.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Elçin TİMUR ÇAKMAK' ın "Stokastik Programlama Yaklaşımı ile Portföy Optimizasyonu: İMKB'de Bir Uygulama" başlıklı tezi .... tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, İşletme Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yrd.Doç.Dr. Nesrin ALPTEKİN	
Üye	: …………………………….	
Üye	: …………………………….	

Prof. Dr. Nurhan AYDIN

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

TABLOLAR VE ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Stokastik programlamanın alt bölümleri..4
Şekil 1.2 Stokastik programlamanın genel akış şeması 5
Şekil 1.3 Stokastik programlama problemlerinin sınıflandırılması 6
Şekil 1.4 İki aşamalı tazminli stokastik programlama modeli......................................10
Şekil 1.5 Çok-aşamalı stokastik programlama süreci 13
Şekil 1.6 Senaryo türetimi akış şeması...17
Şekil 1.7 Senaryo ağacı ile optimizasyon süreci..19
Şekil 1.8 Basit bir senaryo ağacı yapısı..20
Şekil 1.9 Bir senaryo ağacının dallara ayrılması..21
Şekil 1.10 İki aşamalı stokastik programlama için senaryo ağacı 23
Şekil 1.11 Çok-aşamalı stokastik programlama için senaryo ağacı.............................24
Şekil 1.12 İki-aşamalı senaryo ağacı ve şimdi-ve-burada kararı 29
Şekil 2.1 Tesadüfi çeşitlendirme ile yıllık riskte azalma..41
Şekil 3.5 Trapezoidal üyelik fonksiyonu...60
Tablo 3.1 BERDN hisse senedi için beta katsayısının hesaplanması 55
Tablo 3.2 Hisse senetlerinin beta katsayısı değerleri 57
Tablo 3.3 Hisse senetlerinin işlem hacimlerine ilişkin a, b, α ve β parametreleri..........69
Tablo 3.4 Senaryo 1'e ilişkin sonuçlar...70
Tablo 3.5 Senaryo 2'e ilişkin sonuçlar...71
Tablo 3.6 Senaryo 3'e ilişkin sonuçlar...72
Tablo 3.7 Senaryo 4'e ilişkin sonuçlar...73
Tablo 3.8 Senaryo 5'e ilişkin sonuçlar...73
Tablo 3.9 Senaryo 6'ya ilişkin sonuçlar...74
Tablo 3.10 Senaryo ağacı 75

SİMGELER LİSTESİ

x	:	Birinci Aşama Kararı
y	:	İkinci Aşama Kararı
ω	:	x Vektörüne Karşılık Meydana Gelen Gerçekleşme
c	:	Maliyet Vektörü
W	:	Sabit Tazminli Matris
ξ	:	Tesadüfi Değişken
τ	:	Aşamalar
y_0	:	Birinci Aşama Değişken Vektörü
Ω	:	Senaryo Seti
$S(t)$	:	Menkul Kıymetin Fiyatı
μ	:	Fiyatlardaki Düşme
σ	:	Fiyatlardaki Değişkenlik
u_t	:	Hata Terimi
$Q(x)$	:	Tazmin Fonksiyonu
α	:	Üyelik Fonksiyonunun Alt Sınırı
β	:	Üyelik Fonksiyonunun Üst Sınırı

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ ii
ABSTRACT iii
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI iv
ÖZGEÇMİŞ v
TABLOLAR VE ŞEKİLLER LİSTESİ vi
SİMGELER LİSTESİ vii
GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM

STOKASTİK PROGRAMLAMANIN TEMEL KAVRAMLARI

1. TANIM 2
2. STOKASTİK PROGRAMLAMA MODELLERİ 7
   2.1 Tahmini (Anticipative) Modeller 8
   2.2 Uyarlanmış (Adaptive) Modeller 8
   2.3 Tazmin (Recourse) Modelleri 9
   2.4 Çok Aşamalı Modeller 12
3. SENARYO PLANLAMA 15
   3.1 Senaryo Ağacı Oluşturma 18
   3.2 Senaryo Türetmek İçin Yöntemler 25
      3.2.1 Özellik Eşleştirme 26
      3.2.2 Stokastik Süreç Benzetimi 27
      3.2.3 Hata Düzeltme Modeli 27
      3.2.4 Vektör Otoregresif Modeller 28
4.STOKASTİK ÖLÇÜMLER VE TİPLERİ 28
   4.1 Şimdi-ve-Burada (Here-and-Now) Problemleri 29
   4.2 Bekle-ve-Gör (Wait-and-See) Problemleri 30
   4.3 Beklenen Değer Problemi 31
   4.4 Stokastik Çözümün Değeri 31
   4.5 Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri 31
   4.6 EVPI ile VSS' nin Sınırları 32
5. STOKASTİK PROGRAMLAMANIN UYGULAMA ALANLARI 32
   5.1 Finans 33
   5.2 Telekomünikasyon 34
   5.3 Çevre 34
   5.4 Enerji Planlama 34
   5.5 Su Kaynakları Planlaması 34

İKİNCİ BÖLÜM

PORTFÖY OPTİMİZASYONU

1. PORTFÖY YÖNETİMİ 35
1.1 Geleneksel Yaklaşım..........37
1.2 Modern Portföy Teorisi..........38
2. RİSK TÜRLERİ VE KAYNAKLARI 39
2.1 Risk Ölçüm Teknikleri..........42
2.1.1 Ortalama-Varyans Modeli..........43
2.1.2 Semi-Varyans..........43
2.1.3 Riske Maruz Değer..........44
2.1.3.1 Parametrik RMD..........46
2.1.3.2 Tarihi RMD 47
2.1.3.3 Monte Carlo Benzetimi 49

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PORTFÖY OPTİMİZASYONU ÜZERİNE İMKB' DE BİR UYGULAMA

1. UYGULAMANIN AMACI..........51
2. UYGULAMANIN KAPSAMI 51
3. UYGULAMADA İZLENEN YÖNTEM 52
3.1 Portföye Dahil Edilecek Hisse Senetlerinin Seçimi..........52
3.2 Beta Katsayısı..........52
4. BULGULAR VE YORUM..........58
4.1 Senaryo Planlama..........58
4.2 Uygulamada Kullanılan Model..........58
4.3 Modelin Çözümü 70
4.3.1 Birinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 1)..........70
4.3.2 İkinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 2) 71
4.3.3 Üçüncü Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 3) 72
4.3.4 Dördüncü Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 4)..........72
4.3.5 Beşinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 5)..........73
4.3.6 Altıncı Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 6)..........74

SONUÇ 77

KAYNAKÇA 79

GİRİŞ

Portföy yönetimi, yatırımcıların ihtiyaçlarına göre portföye çeşitli menkul kıymetleri almak ve yatırım amaçlarına uygun olarak portföyü yönetmeyi amaçlamaktadır. Yatırımcıların risk ve getiri tercihini yansıtacak en doğru portföyün seçilmesiyle bu portföy için gereken yatırım araçlarına yatırım yapılarak mevcut piyasa şartları içerisinde mümkün olabilen en yüksek katma değere ulaşılmaktadır. Portföy yönetimi yatırımcıya çok fazla kazandırmak yerine, yatırımcının çizmiş olduğu sınırlar içerisinde menkul kıymetlerini en iyi çaba ile riski dağıtarak, yatırımcı adına değerlendirmeye çalışmaktadır.

Çalışmanın amacı, detaylı olarak incelenen stokastik programlama yaklaşımı kullanılarak oluşturulacak portföyden maksimum getiri elde etmektir.

Bu çalışma, üç bölümden oluşmaktadır. "Temel Kavramlar" başlığı altındaki birinci bölümde, stokastik programlama kavramının genel özellikleri ve stokastik programlama modelleri incelenmektedir. Bu bölümde ayrıca, stokastik programlama modellerinin analizinde kullanılan senaryo türetme yöntemleri, senaryo planlama ve bunun için gerekli olan senaryo ağaçlarının nasıl oluşturulacağı ele alınmaktadır. Bu bölümde son olarak elde edilen sonuçların modele uygunluğunun ölçülmesini sağlayan stokastik ölçümlerden bahsedilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde "Portföy Optimizasyonu" başlığı altında portföy yönetiminde kullanılan temel yöntemler ve risk kavramı ile risk türleri incelenmektedir. Ayrıca portföy optimizasyonunda kullanılan farklı risk ölçüm teknikleri incelenmektedir.

Çalışmanın son bölümü uygulama kısmıdır. Bu bölümde, problem için gerekli olan matematiksel model kurulmuştur. Modelin optimizasyonu için veri olarak İstanbul Menkul Kıymetler Borsası' ndan elde edilen beş farklı hisse senedinin Ocak – Nisan 2008 dönemine ait günlük getiri oranları kullanılmıştır. Farklı yatırımcı tipleri göz önüne alınarak oluşturulan altı farklı portföyün çözümü kurulan model yardımıyla yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

STOKASTİK PROGRAMLAMANIN TEMEL KAVRAMLARI

1. TANIM

Stokastik Programlama (SP), 1955 yılında George B. Dantzig' in "Belirsizlik Altında Doğrusal Programlama" adlı çalışmasıyla başlamıştır. Aynı yıl, bu çalışmadan bağımsız olarak E.M.L. Beale stokastik programlama için çözüm önerileri getirmiştir. 1950' lerin sonlarına doğru bu alana şans kısıt tekniğini kullanan A. Charnes ve W. W. Cooper tarafından katkı yapılmıştır. 1990' lı yıllarda Peter Glynn ve Gerd Inflanger de yaptıkları araştırmalarla stokastik programlamanın gelişimine katkıda bulunmuşlardır ve aynı yıllarda stokastik programlama farklı uygulama alanlarıyla çoğu ülkede dikkat çekici bir alan olmaya başlamıştır.[1] Bu aktif ve zor alan, bazı önemli uzun dönem planlama problemlerinin çözümüne yardımcı olmaktadır

Stokastik programlama, kompleks karar problemlerinde en uygun karar stratejisini bulmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Stokastik programlamada verilen kısıtlara ve amaç fonksiyonuna dayanarak optimal karar stratejisi belirlenmeye çalışılırken, probleme ait belirsizlikler ve dinamikler hesaba katılarak problem, optimizasyon problemi olarak formüle edilmektedir. Dağılımı karar vericinin görüşünü yansıtan belirsiz faktörler, tesadüfi değişkenler olarak modele katılmaktadır.[2] Stokastik programlama modelleri, doğrusal ve doğrusal olmayan programlamanın katsayıları belirsizlik altında olan karar modellerine uzantısı olarak ele alınabilir.[3] Doğrusal

---

[1] George Dantzig, "Linear Programming". INFORMS. Vol. 50, No. 1.(Ocak, 2002), s.46.
[2] "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp
[3] Roger J-B.Wets. "Stochastic Programming Models: Wait-and-See versus Here-and-Now", Institute for Mathematics and Its Applications. Vol. 128. (2002), s.1.

programlama kullanılarak yapılan optimizasyonlar çok sayıdaki gerçek hayat probleminin çözümüne önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak daha çok deterministik doğrusal programlar için kullanılan doğrusal programlama modelleri belirsizliğe sahip problemler için uygun çözümler verememektedir. Örneğin, menkul kıymet fiyatları tahminlenemezken portföy getirilerinin optimize edilmesi, vb.[4]

Verilen bir ya da daha fazla amaç fonksiyonunu ve uygun kısıtları optimize edebilmek için karar vermede gerekli olan problemler optimum karar verebilmekle ilgilidir. Matematiksel programlama modelleri karar vericinin modeli kurmasına, aynı zamanda amaç fonksiyonunu ve kararların etkilerini gözden geçirmesine olanak tanımaktadır.[5] Belirsizliği ele alan matematiksel programlama modelleri, *stokastik programlama* olarak tanımlanmaktadır.[6] Ancak bu gibi problemlerde karar vericinin belirsizliğin etkilerini de hesaba katması gerekmektedir. Bu durumda problem *belirsizlik altında karar verme problemi* olarak ele alınmaktadır. Bu problemler ortaya çıkacak olayların tam olarak belirlenemediği durumları kapsar.[7] Belirsizlik altında karar verme modellerinde belirsizlikleri, hesaplamalar için uygun bir biçimde yazmak gereklidir.[8] Belirsizlik altında karar verme, en yaygın ve en zor karar verme durumudur; çünkü probleme ilişkin kısmi bilgi vardır. Buna rağmen karar verici, optimum bir karar vermek durumundadır.

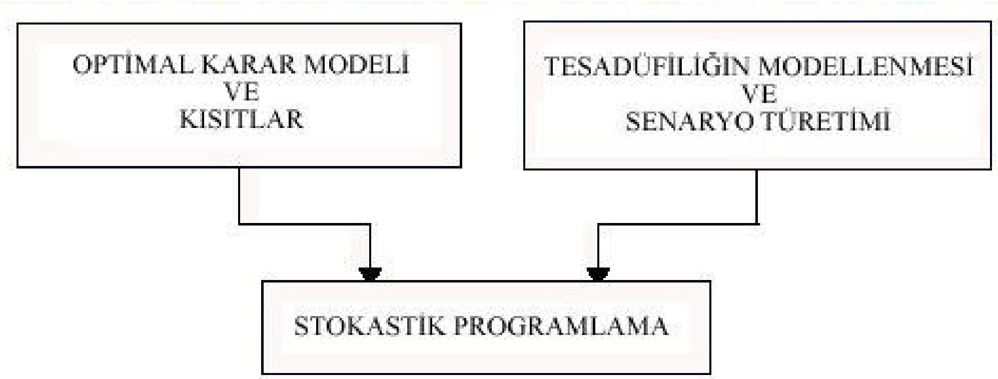
Belirsizlik altında dinamik karar vermede en iyi bilinen yaklaşımlar, stokastik optimum kontrol ve dinamik programlamadır. Bu yaklaşımlar uygulamada genellikle çok kısıtlıdır. Stokastik kontrolde amaç, optimum çözüm için analitik bir model elde etmektir. Bu, sadece yapısı yeteri kadar basit olan çok özel problemlerde mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, dinamik programlama tekniğinin çalışması için karar uzayının sonlu bir küme tarafından yaklaşık olarak tahmin edilmesi gerekmektedir.

---

[4] Sovan Mitra, S. "A White Paper on Scenario Generation for Stochastic Programming", Optirisk Systems: White Paper Series, Finance, OPT004, (Temmuz, 2006),s.23.
[5] "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp
[6] Roy Kouwenberg and Stavros A. Zenios, "Stochastic Programming Models for Asset/ Liability Management", Working Paper, (Kıbrıs: 2001),s.5.
[7] "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp
[8] Kjetil Høyland ve Stein W. Wallace, "Generating Scenario Trees for Multistage Decision Problems", Informs, Vol. 47, No. 2, (Şubat, 2001),s.295.

Uygulamalarda, bir ya da daha fazla parametredeki belirsizlik olasılık dağılımları ile modellenebilir. Olasılık uzayındaki her bir belirsiz parametrenin tesadüfi değişkenle ifade edilebilmesiyle belirsizliğin sayısal olarak ölçümü mümkün kılınabilmektedir. Stokastik Programlama karar vericilerin bu ölçülebilen belirsizliği, üzerinde çalışılan optimizasyon problemine dahil etmelerine olanak sağlamaktadır. Stokastik Programlama modelleri gelecekteki belirsizliklerden doğan zararları önlemeye çalışarak bu zararlara karşı optimal karar vermeyi sağlamakta ve tesadüfi parametrelerin modellenmesi ile dinamik programlamanın uygulamalarını birleştirmektedir.[9]

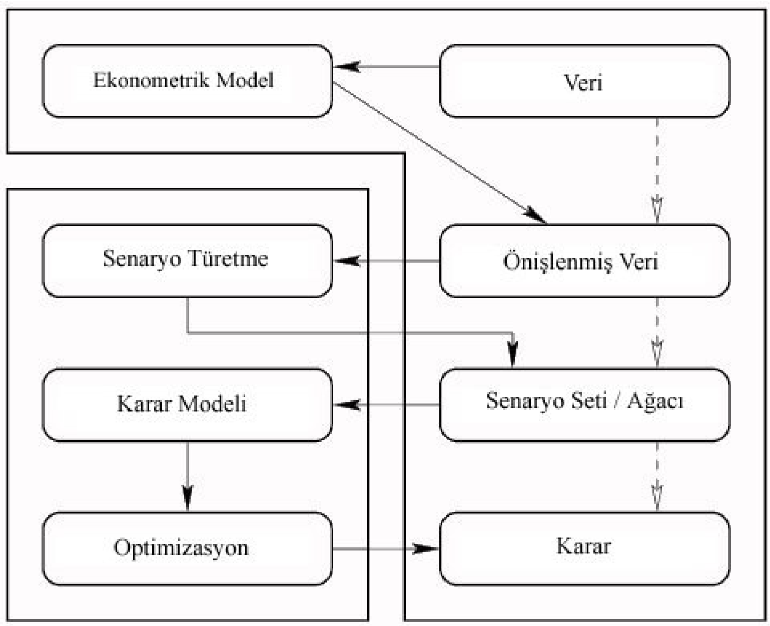
Stokastik Programlama' nın temelinde işlenen konu, problemle ilgili olan değişkenlerin kullanılmasıyla belirsizliğin ifade edilmesidir. Burada belirsizlik, her bir alternatifin gelecekte ortaya çıkabilecek olası her duruma karşılık gelen sonucudur. Karar verici, gelecekteki durumları tam olarak bilemediğinden meydana gelebilecek her bir durum ve bu durumun sonuçlarını gösteren farklı türde senaryolar türeterek her duruma karşı hazırlıklı olmalıdır. Gelecekte meydana gelebilecek olan durumları öngörebilmenin bir yolu, uygulamada ele alınan problemin yapısına göre değişen belirsizlikler için modelleme yapmaktır. Bu durum Şekil 1.1' de görülmektedir.



Şekil 1.1 Stokastik Programlamanın Alt Bölümleri[10]

[9] Nico Di Domenica ve diğerleri. "Stochastic Programming and Scenario Generation within a Simulation Framework: A Modelling Perspective", Decision Support Systems, Vol. 42, (Ocak, 2007), s.4.
[10] Aynı, s.6.

Optimum karar modelinde, çözülmesi gereken ve her bir uygulamanın karakteristiklerine göre değişen problem, kısıtlarla birlikte oluşturulur. Stokastik programlama uygulamalarında problemin elde edilmesinin ardından öncelikle elde edilen verilere uygun yapıda bir ekonometrik model kurulur. Elde edilen modele verilerin katılmasıyla üzerinde çalışılan karar problemine uygun ve de problem niteliğinin gerektirdiği sayıda senaryo türetilir. Türetilen bu senaryolar arasından en yüksek getiriye sahip olan senaryo seçilerek karar modeli belirlenir ve böylece karar modeli optimize edilmiş olur. Şekil 1.2' de stokastik programlamanın genel akış şeması görülmektedir.



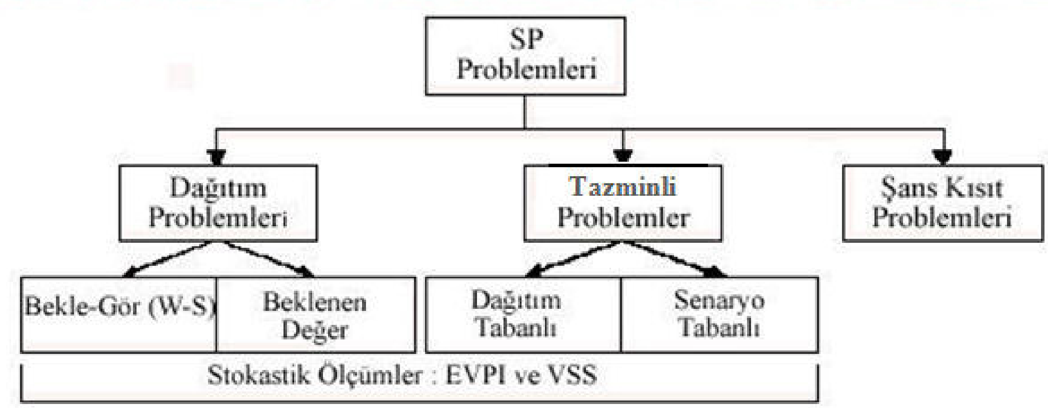
Şekil 1.2 Stokastik Programlamanın Genel Akış Şeması[11]

Stokastik programlama problemlerinde genel ayırım, statik (tek aşamalı) ve dinamik (çok aşamalı) şeklindedir. Statik problemlerde sonuç mevcut zamanda verilen kararlara bağlıdır, ancak dinamik problemlerde sonuç daha fazla bilginin var olabileceği sonraki aşamalardan da önemli ölçüde etkilenmektedir. Dinamik problemlerde karar aşamaları genellikle içsel bağımlıdır, böylece kararlar sonuç ele alınırken eşzamanlı

[11] Ronald Hochreiter, Georg Ch. Pflug ve David Wozabal, "Application-oriented Multi-stage Stochastic Programming for Electricity Markets". Energy Workshop, (Austria, 2006), s.7.

olarak verilmektedir. Belirsizlik altında dinamik karar problemleri oldukça karmaşıktır; çünkü daha sonraki aşamaların kararları, birinci aşamadan sonra ortaya çıkan bilgi altında verilmektedir. Sonraki aşamaların kararları belirsiz faktörlerin fonksiyonlarıdır, böylece genel karar problemi fonksiyonlar olarak karar değişkenlerini içermektedir. Örneğin yatırım problemleri planlanan süreçte yatırım portföyü güncellenebildiği zaman dinamik hale gelmektedir. Optimum portföy güncellemeleri, güncelleme sırasında açığa çıkan bilgiye bağlı olarak değişmektedir. İlgili bilgi erken yatırım getirileri olabildiği gibi, getirilerin ilerideki dağılımlarını etkileyen başka mümkün bilgi de olabilmektedir.[12]

Stokastik programlama bazı parametrelerin yapısındaki belirsizliği tam olarak gidermeye çalışan iyi yapılandırılmış matematiksel bir programlama türüdür ve optimum çözümlerin sayısal olarak araştırıldığı matematiksel programlamanın gelişmiş teknikleri üzerine kurulmuştur. Bu teknikler, stokastik kontrol ya da dinamik programlamadan daha çok genel modellere uygulanırlar. Stokastik programlama modelleri, ele alınan doğrusal optimizasyon modelinde belirsizliğin tanımlanmasıyla çeşitli alt gruplara ayrılabilir. Bu alt gruplar Şekil 1.3' teki şemada görülmektedir.



Şekil 1.3 Stokastik Programlama Problemlerinin Sınıflandırılması[13]

[12] "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp
[13] Domenica ve diğerleri, Aynı, s.11.

Yıllar boyunca stokastik programlama problemlerinin çözümündeki gelişme bilimsel olarak oldukça ilerleme göstermiştir. Özellikle finans ve enerji gibi büyük miktarlarda sermayenin kullanıldığı alanlarda stokastik programlama yaklaşımı yoğun olarak kullanılmaktadır. Belirsiz parametreler içermesine karşılık stokastik programlama modellerinin daha çok kullanılmasının altında yatan en önemli neden, diğer yaklaşımlara göre daha çok uygulanabilir olmasıdır.[14] Ayrıca çok geniş ölçekli çözümlere dayanan matematiksel programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bilgisayarların çözüm hızlarının arttırılması ve gerçek-hayat sistemlerindeki belirsizliklerin uygulama için problemlere uyarlanmasındaki esneklik, stokastik programlamanın kullanımını yaygınlaştırmıştır.[15] Birçok araştırmacı stokastik programlamanın ekonomik olarak uygun olduğu uygulama alanlarında modelleme sürecinin daha basite indirgenerek bu programa yaklaşımın geliştirilebileceğine inanmaktadır.

Stokastik programlama çözümü geniş-ölçekli metotlara dayanan, gelecek için ümit vaat eden alanlardan biridir.[16] Ancak yıllar boyunca; geniş-ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümünde zorluklarla karşılaşılmış olsa da, son yıllarda bilgisayarların ve sayısal tekniklerin hızla gelişmesi sayesinde stokastik programlama çok sayıda gerçek uygulama olanağı bulmuştur. Gelişme devam ettikçe, stokastik programlama belirsizlik altında karar verme uygulamalarında en kullanışlı yaklaşım olmayı sürdürecektir.[17]

2. STOKASTİK PROGRAMLAMA MODELLERİ

Tahmini ve uyarlanmış modeller stokastik programlamanın özel durumlarıdır. Bu iki modelin birleşimi, finansal alanda sıkça kullanılan bir tazmin modelini oluşturur.

---

[14] Robert Fourer ve Leo Lopes, "A Filtration-Oriented Modeling Tool for Stochastic Programming", (Chicago: Northwestern University, 2003), s.2.
[15] Yasemin Arda, Integration of Fuzzy Optimization and Stochastic Programming in Multi-Commodity Network Flow Problems, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001), s.16.
[16] Dantzig, Aynı, s.46.
[17] "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp

2.1 Tahmini (Anticipative) Modeller

Tahmin edilen modeller aynı zamanda statik modeller olarak da adlandırılabilir; çünkü verilecek olan kararlar gelecekteki gözlemlere bağlı değildir. Tedbirli bir planlama modeli gelecekteki tüm mümkün gerçekleşmeleri hesaba katmalıdır; çünkü sonradan kararların değiştirilme şansı yoktur.

Tahmini modellerde olabilirlik, olasılık (ya da şans) kısıtlarına dayanarak açıklanabilir. Örneğin, $0 < \alpha \leq 1$ iken, bir α güven düzeyi belirlenerek kısıtlar

$$P\left\{\omega \mid f_j(x,\omega) = 0,\ j = 1,2,...,n\right\} \geq \alpha, \tag{1.1}$$

biçiminde yazılabilir.

Burada x, karar değişkenlerinin m-boyutlu vektörüdür, $f_j : \mathbb{R}^m \text{ x } \Omega \rightarrow \mathbb{R},\ j = 1,2,...,n.$ ω, x vektörünün alacağı her bir değere karşılık meydana gelen gerçekleşmedir. Burada Ω senaryo setini göstermektedir. Amaç fonksiyonu da $f_0 : \mathbb{R}^m \text{ x } \Omega \rightarrow \mathbb{R} \bigcup \{+\infty\}$ ve γ bir sabitken, $P\{\omega \mid f_0(x,\omega) \leq \gamma\}$ gibi belirli bir güven düzeyinde olabilir.

Tahmini bir model, amaç fonksiyonunun ve kısıtların yapısına uygun bir poliçe seçilmesini sağlar. Verilen örnekte; kısıtlardaki bozulmanın, önceden belirlenen 1-α eşik değerinden daha küçük olması istenmektedir. α' nın kesin değeri uygulamaya göre değişmektedir.[18]

2.2 Uyarlanmış (Adaptive) Modeller

Uyarlanmış modellerde, karar vermeden önce belirsizliğe bağlı olan bilgi kısmen mümkün hale gelmektedir. Bu durum, uyarlanmış model ile tahmin edilen model arasındaki temel farktır. A, tüm mümkün olayların alt kümesi ve gözlemler yoluyla elde edilen ilgili bilginin toplamı olsun. Karar x, gözlemlenebilen olaylara bağlı olarak

[18] Li-Yong Yu, Xiao-Dong Ji ve Shou-Yang Wang, "Stochastic Programming Models in Financial Optimization: A Survey, Advanced Modeling and Optimization", AMO - Advanced Modeling and Optimization, Vol.5, No.1, (2003), s.3.

değişir ve *A-uyarlanmış* ve *A-ölçülebilir* olarak isimlendirilebilir. Uyarlanmış bir stokastik program şu şekilde formüle edilmektedir:

$$\begin{aligned} &Min\ \ E\left[f_0(x(\omega),\omega) \mid A\right] \\ &kısıtlar\ E\left[f_j(x(\omega),\omega) \mid A\right] = 0,\ j = 1,2,...,n \\ &x(\omega) \in X \end{aligned} \tag{1.2}$$

Bu problem, her bir ω için aşağıdaki deterministik program çözerek elde edilir:

$$Min\ \ E\left[f_0(x,\cdot) \mid A\right](\omega) \tag{1.3}$$

Kısıtlar

$$E\left[f_j(x,\cdot) \mid A\right](\omega) = 0,\ j = 1,2,...,n \tag{1.4}$$

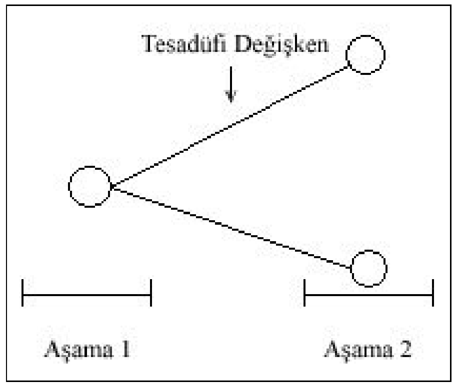
$$x \in X \tag{1.5}$$

Bilginin tam olarak elde edilmiş ve hiç elde edilememiş olmasından özel olarak bahsedilmesi gerekmektedir. (1.2) dağılma modeli iken, (1.3) formülasyonu, modeli optimum amaç değerinin dağılımını karakterize eden uyarlanmış biçime indirgemektedir. Ancak en önemli durum, izleyen bölümde ele alınacak olan, bilginin kısmen bilindiği durumdur.

2.3 Tazmin (Recourse) Modelleri

Tazmin modelleri, karar verebilmek için sadece gelecekteki gözlemleri tahmin etmekle kalmayıp aynı zamanda geçici mümkün durumları da ele alan bir durumu araştırarak (1.2) ve (1.3) modellerini ortak bir matematiksel yapıda birleştirmektedir. Örneğin, bir portföy yöneticisi hisse senedi fiyatlarının gelecekteki hareketlerini (tahmin edilen) dikkate aldığı gibi bunun yanında fiyatlardaki değişmeler gibi dengeleyici portföy pozisyonlarını da (uyarlanan) dikkate alır.

Tahmini ve uyarlanmış modellerin birleştirilmesiyle oluşturulan iki aşamalı tazminli stokastik programlama modelinde, birinci aşamanın sonunda tesadüfi değişkenin gözlenmesiyle elde edilen sonuçlar ikinci aşamayı oluşturur. Bu durum Şekil 1.4‘ te görülmektedir.



Şekil 1.4 İki Aşamalı Tazminli Stokastik Programlama Modeli

İki aşamalı tazminli stokastik doğrusal programlar iki bileşenden oluşmaktadır: belirsizlik içermeyen ve sabit bir yapısal bileşen (birinci aşama) ve verilerdeki belirsizlikten etkilenen kontrol bileşeni (ikinci aşama).

Karar değişkenleri iki alt gruba ayrılmaktadır:

- $x \in \mathbb{R}^{m_1}$ sabit ve yapısal kısıtlara karşılık gelen birinci aşama değişkenleridir ve belirsiz parametrelerin değerleri gözlenmeden önce alınması gereken kararları göstermektedir.

- $y \in \mathbb{R}^{m_2}$ belirsizlik içeren parametrelerin gözlemlenmesiyle elde edilen bir gerçekleşmeden sonraki tazmin faaliyetlerini gösteren ikinci aşamanın kontrol bileşenidir. Literatürde bu değişkenler aynı zamanda tazmin değişkenleri olarak da adlandırılırlar. Bu değişkenlerin optimal değerleri, belirsiz parametrelerin gerçekleşmelerine ve birinci aşama değişkenlerinin optimal değerlerine bağlıdır.[19]

İki aşamalı tazminli stokastik programlama modelinin genel gösterimi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

[19] Arda, Aynı, s.17.

$$\begin{aligned} min\, z &= c^T x + E_\xi \left[min\, q(w)^T y(w) \right] \\ Ax &= b \\ T(w)x + Wy(w) &= h(w) \\ x \geq 0&,\ y(w) \geq 0 \end{aligned} \tag{1.6}$$

Burada; c, $\mathbb{R}^{n_1}$ de tanımlı maliyet vektörü, b $\mathbb{R}^{m_1}$ de tanımlı bir vektör, A ve W sırasıyla $m_1\ x\ n_1$ ve $m_2\ x\ n_2$ boyutlu matrislerdir. W ise sabit tazminli (fixed recourse) matristir.

Her bir w için, $T(w)$ $m_2\ x\ n_1$ boyutlu matris, $q(w)$ $\mathbb{R}^{n_2}$' de tanımlı bir vektör ve $h(w)$ de $\mathbb{R}^{m_2}$' de tanımlı bir vektördür. Problemin stokastik bileşenlerini birleştirirsek $T_i(w)$ teknoloji matrisinin i. satırı iken $\xi^T(w) = (q(w)^T, h(w)^T, T_i(w), ..., T_{m_2}(w))$ vektörü $N = n_2 + m_2 + (m_2 x n_1)$ ile elde edilmektedir. E_ξ, tesadüfi değişkenlerin vektörü ξ' nin beklenen değerini göstermektedir.

Stokastik doğrusal programlama modeli deterministik modele eşittir:

$$\bar{Q}(x) = E_\xi [Q(x, \xi(w))] \tag{1.7}$$

ve

$$Q(x, \xi(w)) = \min_y \left\{ q(w)^T \mid Wy = h(w) - T(w)x,\ y \geq 0 \right\} \tag{1.8}$$

iken

$$\begin{aligned} min\, z &= c^T x + \bar{Q}(x) \\ Ax &= b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \tag{1.9}$$

$Q(x, \xi(w))$ herhangi bir tesadüfi vektör için ikinci aşamanın amaç fonksiyonudur ve tazmin maliyeti olarak adlandırılmaktadır. $\bar{Q}(x)$ değer fonksiyonu ya da tazmin maliyetinin beklenen değeridir. Deterministik program üzerinde çalışmanın zorluğu $\bar{Q}(x)$' in x' in bir fonksiyonu olarak yazılamamasından kaynaklanmaktadır.

Stokastik programlamanın ele alınan problemin yapısına göre değişiklik gösteren birçok gösterim şekli vardır. Problemin karakteristiğine göre birinci aşama için $K_1 = \{x \mid Ax = b, x \geq 0\}$, ikinci aşama için $K_2 = \{x \mid \bar{Q}(x) < \infty\}$ ve amaç fonksiyonu değerleri hesaplamada kısmen gerekli olabilecek özelliklere sahiptirler. Eğer her bir x çözüm değeri birinci aşama kısıtları olan $Ax = b$ yi sağlarsa çok büyük bir avantaj elde edilmiş olur, böylece aynı zamanda ikinci aşama da $K_1 \subset K_2$ tamamlanmış olur. Bu durumda ele alınan stokastik program kısmen bir "tam tazminli" stokastik programdır. Kısmen tam tazminli stokastik programlar uygulama ve teorik sonuçlar açısından çok kullanışlı olmasına rağmen K_1 ve K_2 küme değerlerini bilmek gerektiğinden yapısal olarak zor olabilmektedir. Kısmen tam tazmin W tarafından tanımlanabilir. Bu yapı, $y \geq 0$ iken, $Wy = t$ ($t \in \mathbb{R}^{m_2}$) şeklinde "tam tazmin" olarak adlandırılmaktadır.

Tam tazminin özel bir durumu olan basit tazmin ise, stokastik programlama çözümlerine ekstra bir hesaplama avantajı sağlamaktadır. Bir basit tazmin problemi için, örneğin $W = [I, -I]$, y kararı (y^+, y^-) olarak ayrılır, aynı zamanda q da (q^+, q^-) olarak ayrılır. Bu durumda $y_i^+(w)$, $y_i^-(w)$ değerlerinin optimal değerleri $h_i(w) - T_i(w)x$ ' in işaretine bağlı olarak belirlenmektedir.[20]

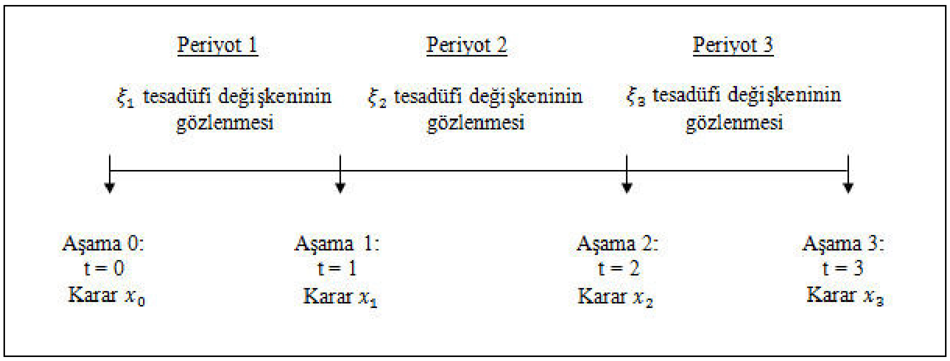
Problem için uygun olan stokastik programlama formülasyonunun yapısı hem hesaplama açısından kolaylığına hem de zaman açısından bilginin ve uyarlamaların mümkünlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Bu mümkün uyarlamalar karar vericinin değişik modelleri seçmesini gerektirir. Eğer karar verici belirsizliği önleyebilmek için sadece tazmin eylemini biliyorsa, basit tazminli bir model kurmalıdır. Ancak karar verici her bir aşamada kontrol değişkenlerini uyarlayabiliyorsa o zaman tam tazminli bir model kurmalıdır.

2.4 Çok Aşamalı Modeller

Buraya kadar ele alınan iki aşamalı stokastik programlama modeli statik olduğu için zamanın sadece bir anında optimal karar verilmekteydi. Ancak kararların, zamanın

[20] Aynı, s.19

belirli anlarında mevcut bilgiye bağlı olarak her bir periyot için ardışık şekilde alınması gerektiği bazı durumlar vardır. Bu gibi problemlerde kullanılan çok aşamalı stokastik programlama modelleri, iki aşamalı programlamanın çok aşamalıya uzantısı şeklinde ele alınabilir.[21] Şekil 1.5‘ te ardışık olarak bulunan ve her bir aşamanın bir önceki aşamanın karar değişkenine bağlı olarak değiştiği bir süreç görülmektedir.



Şekil 1.5 Çok-Aşamalı Stokastik Programlama Süreci[22]

Gözlemlerin T farklı aşamada yapılması ve $A_1 \subset A_2 ... \subset A_T$ iken $\{A_t\}_{t=1}^{T}$ bilgi setlerinde toplanması mümkündür. Bazı bilgiler açığa çıktığı ve bir karar verilebildiği zaman aşamalar, zaman aralıklarına karşılık gelmektedir. (Burada T ’ nin zaman aralığı, $T(\omega)$ nin de matris olduğuna dikkat edilmelidir.)

Tazminli çok aşamalı bir stokastik program, τ aşamasında A_T tarafından sağlanan tüm bilgiyi içeren koşullu bilgiye sahip bir tazmin problemine sahip olacaktır, $t = 1, 2, ..., \tau$. Bu program, aynı zamanda $t = \tau + 1, ..., T$ için A_T bilgisinin gelecekteki değerini tahmin etmektedir.

[21] Alexander Shapiro ve Andy Philpott, “A Tutorial on Stochastic Programming”, http://stoprog.org/index.html?SPTutorial/SPTutorial.html, s.1.
[22] George C. Pflug, “Introduction to Stochastic Optimization: Theory and Applications”, (Bergamo: Stochastic Programming School, 2007), s.11.

Birinci aşama değişken vektörü y_0 ile gösterilir. Her bir aşama için, $t = 1, 2, ..., T,$ tazminli değişken vektörü $y_t \in \mathbb{R}^{m_t}$, tesadüfi maliyet fonksiyonu $q_t\left(y_t, \omega_t\right)$ ve tesadüfi parametreler $\left\{T_t(\omega_t), W_t(\omega_t), h_t(\omega_t) \mid \omega_t \in \Omega_t\right\}$ tanımlanmalıdır.

(1.7) deki iki aşamalı modelin uzantısı şeklinde olan çok aşamalı program aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.[23]

$$
\begin{array}{ll}
Min & f(y_0) + E[\min\limits_{y_1 \in \mathbb{R}_+^{m_1}} q_1(y_1, \omega_1) + ...E[\min\limits_{y_T \in \mathbb{R}_+^{m_T}} q_T(y_T, \omega_T)]...] \\
kısıtlar & T_1(\omega_1) y_0 + W_1(\omega_1) y_1 = h_1(\omega_1), \\
 & \vdots \\
 & T_T(\omega_T) y_{T-1} + W_T(\omega_T) y_T = h_K(\omega_T), \\
 & y_0 \in \mathbb{R}_+^{m_0}
\end{array}
\qquad (1.10)
$$

Uygulamadaki çok sayıdaki gerçek-hayat problemi iki aşamalı ya da çok aşamalı tazminli doğrusal stokastik programlama modeli olarak formüle edilmektedir. Bu problemlerin özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Her bir aşama bir zaman periyodunu ifade etmektedir;
- Birinci aşamanın başladığı yer o anki durumu simgelemektedir (şimdi);
- Sonraki aşama bilgileri sadece olasılığa dayalı olarak biliniyorken, aşamaların başlangıçlarındaki bilgiler deterministik olarak bilinmektedir;
- Birinci aşamanın başlangıcındaki kararlar, sonraki aşamalardaki tesadüfi verilerin gerçekleşmesinden önce verilmelidir;
- Herhangi bir aşamadaki tesadüfi veri belirli hale gelince, tazmin faaliyetleri önceden verilen kararların değiştirilmesine olanak tanımaktadır;
- Karar vermenin iyi yönü, elde edilen toplam maliyetin birinci aşamadaki deterministik maliyet ile sonraki aşamalardaki beklenen maliyeti içeriyor olmasıdır.[24]

[23] Yu, Ji ve Wang, Aynı, s.4

3. SENARYO PLANLAMA

Senaryo planlama, gelecekte meydana gelebilecek mümkün durumların karar vericiler tarafından önceden saptanmasıdır. Amaç, bu mümkün senaryolar altında iyi sonuç veren çözümler elde etmektir.[25]

Senaryo planlama kavramı ilk olarak II. Dünya Savaşı sırasında askeri planlama yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Amerikan Hava Kuvvetleri düşmanların yapabilecekleri saldırılara karşılık alternatif stratejiler belirlemeyi amaçlamışlardır. 1960' lı yıllarda yine Amerika elindeki petrol rezervlerini diğer ülkelere ihraç etmeye başlamıştır; ancak aynı zamanda Amerika'nın kendi iç talebi de sürekli artış gösterdiğinden oluşan dengesizlik geleceğe yönelik olarak planlanan senaryolarla dengelenmiştir.[26]

1977' de Vanston senaryo planlama tekniklerinin kullanımı ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalara ilave olarak Amara ve Lipinski, Georgantzas ve Acar ve Van der Heijden senaryo planlama tekniklerine daha genel bir bakış açısıyla yaklaşarak katkıda bulunmuşlardır.[27] Son yıllarda senaryoların kullanımı stratejik planlamanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Senaryo planlama karar vericinin içinde bulunulan şartlara uygun olarak geniş bir bakış açısıyla stratejik kararlar vermesinde esneklik sağlamaktadır.[28]

Gelecekteki uzun süreli yatırımlara ait riskleri yönetebilmek için karar vericiler ileriyi görmeli ve belirsizlikleri ele almalıdırlar. Ancak bunu yapmak yerine çoğu insan genellikle belirsizlikleri göz ardı etmeye çalışarak problemleri farkında olmadan deterministik olarak ele alırlar ve probleme ait belirsizlikler probleme katılmadığı zaman da çok büyük zararlara uğrarlar. Senaryo planlama karar vericilerin

---

[24] Arda, Aynı, s.16.
[25] Zeynep Taner, "A Study of Different Perspectives in Facility Location Problems", (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 2002), s.35.
[26] Juergen H. Daum, "How Scenario Planning Can Significantly Reduce Strategic Risks and Boost Value in the Innovation Chain", The New Economy Analyst Report, (Eylül, 2001), s.1.
[27] Taner, Aynı, s.35.
[28] Aynı, s.16.

belirsizliklere genel bir bakış açısıyla bakmasını, stratejik riskleri ve fırsatları yönetmesini sağlayan bir araçtır.

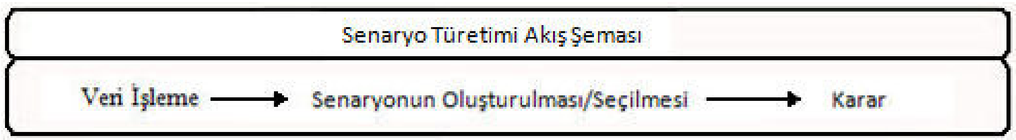
Senaryo planlama yeni stratejilerin belirlenmesinin ve test edilmesinin üç şekilde yapılmasını sağlamaktadır. İlk olarak, senaryolar planlama süresi boyunca değişimleri, belirsizlikleri ve fırsatları görebilmek için çerçeve oluşturur; yani senaryo planlama süreci, probleme farklı perspektiflerden bakılmasına olanak tanımaktadır. İkinci olarak, senaryo planlama yatırımcıların gelecekte meydana gelebilecek muhtemel durumlara karşı önceden hazırlıklı olmasına yardımcı olur ve son olarak gelecek kesin olarak tahmin edilemediği için senaryolar yatırımcıların oluşturulan durumlar ışığında tercih yapmalarını sağlamaktadır. Oluşturulan senaryolar problem ve model için ne kadar uygunsa beklenmedik durumlarla o kadar az karşılaşılır ve daha başarılı stratejiler belirlenir.[29]

Senaryo planlama, karar vericilerin kapsamlı bir şekilde beklentileri ve beklenmeyen tehlikeleri önceden görebilmek için çeşitli sayıda makul senaryolar türettikleri bir süreçtir.[30] Senaryo planlama karar vericileri çok sayıdaki mümkün sonuç arasından planlama yapmaya itmektedir. Geleceği tahmin etmek veya öngörmekten çok, senaryo tabanlı planlamanın kullanımı verileri kullanarak denemelerde bulunmak ve gelecekte ortaya çıkabilecek mümkün durumları görebilmeyi sağlamaktadır.[31] Bu çalışmada, seçilen belirli sayıdaki hisse senedi için yeterli sayıda senaryo oluşturularak senaryo planlaması yapılacak, elde edilen senaryolar arasından yatırımcının gelirini maksimize edecek portföy seçilecektir.

Stokastik Programlama yatırım kısıtları, işlem maliyetleri, riskten kaçınma, varlık gruplarının sınırları gibi gerçek hayat özelliklerini yansıtan genel amaçlı modellemenin elde edilmesini sağlar. Ancak, optimizasyon modeli özellikle çok amaçlı stokastik programlama modellerinde çok sayıda karar değişkeni için oldukça zor bir hale gelmektedir. Bu nedenle, stokastik programlama modellerini kullanabilmek için

[29] Jay Horton, "Scenario Planning: Exploring the Future of ORMS Practice", INFORMS (Hong Kong: 2006).s.1.
[30] Daum, Aynı, s.1.
[31] Neil Doyle ve John Gralton, "Transport Portfolio Scenario-Based Planning for the Queensland", 4Seeable Futures, (Queensland: 2006), s.1.

senaryo türetmek ve olay ağaçlarını yapılandırmak çok büyük önem taşımaktadır.[32] Şekil 1.6‘ da senaryo türetimine ait akış şeması görülmektedir. Problemle ilgili olarak seçilen veriler ile problemin özelliklerini yansıtan model kullanılarak problem için yeterli olabilecek sayıda senaryo oluşturulur ve bu senaryolar arasından en uygun olanın seçilmesiyle optimizasyon yapılmış olur.



Şekil 1.6 Senaryo Türetimi Akış Şeması[33]

Senaryo analizinde belirsizlik, mümkün tüm senaryoların olasılıklarının varsayılması yoluyla modellenir ve amaç iyi olasılık dağılımına sahip bir çözüm bulmaktır. Bir modelin parametrelerindeki belirsizlik farklı uygulamalarda farklı biçimlerde olabilir. Bunun nedeni eksik bilgi, sistemdeki dalgalanmalar ya da gelecek için öngörülemeyen değişimler olabilir.[34]

Finansal optimizasyonda belirli sayıda varlıktan bir portföy oluşturularak, bu portföyde hangi finansal varlığın hangi ağırlıkta bulunması ile daha çok getiri elde edileceğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu portföyün elde edilmesinde birden fazla senaryo oluşturularak, bu senaryolar arasından maliyeti en düşük, getirisi en yüksek olan optimum bir portföy seçilir.

Senaryo planlama sürecinin dört aşaması vardır[35]:

• Birinci aşama senaryoların türetileceği ilgili faktörleri belirlemektir. Bu faktörler hisse senedi fiyat spekülasyonlarından alternatif para piyasalarına, genel ekonomik ve siyasi duruma kadar değişebilir. Genel olarak karar vericiler menkul kıymetin değerini

[32] Yu, Ji ve Wang, Aynı, s.16.
[33] Hochreiter, Pflug ve Wozabal, 2006, s.12
[34] Taner, Aynı, s.16.
[35] Aswath Damodaran, Strategic Risk Taking: A Framework for Risk Management, (**Pennsylvania**: Wharton School Publishing, 2007), s.3.

belirleyebilmek ve bu kritik faktörler dayanarak senaryolar oluşturabilmek için en kritik iki ya da üç faktör üzerine odaklanmalıdırlar.

• İkinci aşama, her bir faktör için analiz edilmesi gereken senaryo sayısının belirlenmesidir. Daha fazla sayıda senaryonun türetilmesi problemin sonuçları açısından daha iyi olmasına karşın, senaryo sayısı arttıkça problem için veri toplamak ve senaryolar arasında tahminler yapmak giderek zorlaşmaktadır.

• Üçüncü aşama, her bir senaryo için menkul kıymet getirilerinin hesaplanmasıdır. Tahminlerin kolaylığı için sadece iki ya da üç kritik faktör dikkate alınmakta ve her bir faktör için birkaç tane senaryo türetilmektedir.

• Son aşama her bir senaryoya olasılıkların atanmasıdır. Eğer bu aşamada olasılıklar tahmin edilebilirse, senaryo analizinden elde edilen sonuçlar, her bir senaryo için beklenen değerler olarak gösterilebilmektedir.

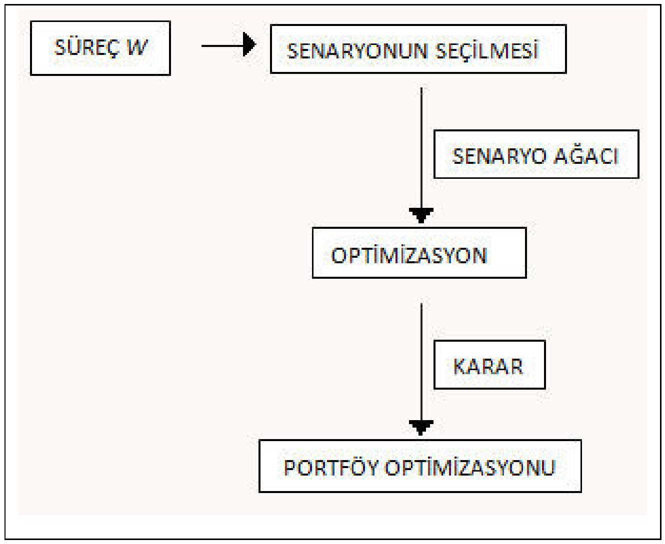
Bu süreçte dikkat edilmesi gereken iki önemli konu vardır. Bunlar, senaryo sayısının stokastik programlama probleminin çözümünün kolaylığı için gereğinden fazla olmaması ve probleme ait dağılımı ve verileri iyi temsil edebilmesi için gereğinden az olmamasıdır.[36]

3.1 Senaryo Ağacı Oluşturma

Senaryo ağaçları ele alınan problemin optimize edilebilmesi için modele uygun olarak planlanan senaryoların şematik olarak gösterilmesinde kullanılmaktadır. Oluşturulan senaryo ağaçları yardımıyla problem optimize edilir ve elde edilen sonuçlar arasından en çok getiriye sahip portföy seçilir. Bu durum Şekil 1.7‘ de görülmektedir.

---

[36] Stein Wallace, "Scenario Generation", http://home.himolde.no/~wallace/scen-gen.htm

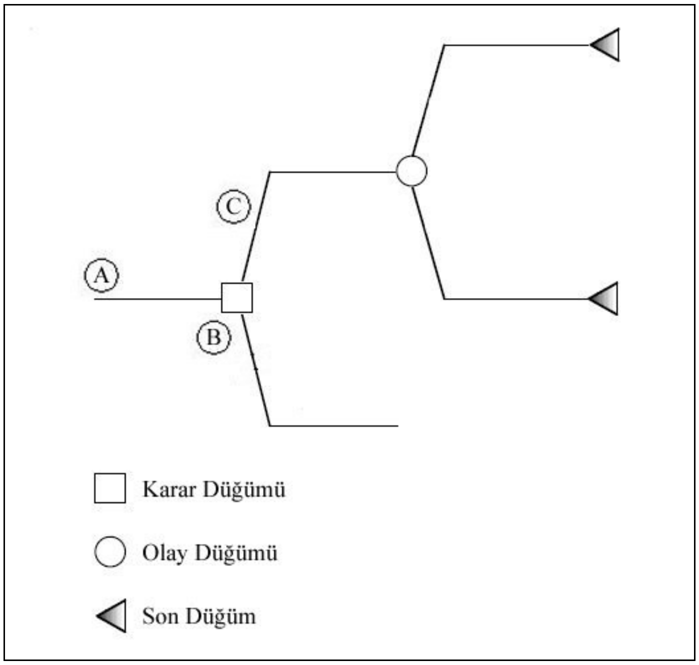


Şekil 1.7 Senaryo Ağacı ile Optimizasyon Süreci[37]

Senaryo ağaçlarının özellikleri şunlardır;[38]

- Bir problemle ilgili faaliyetin sayısal olarak ifade edilmesini sağlar,
- Probleme ilişkin sonuçlarda belirsizlik varken oldukça kullanışlıdır,
- Benzer ya da muhtemel sonuçlara sayısal değer atar,
- Alınabilecek farklı kararlar arasında karşılaştırma yapmayı sağlar.

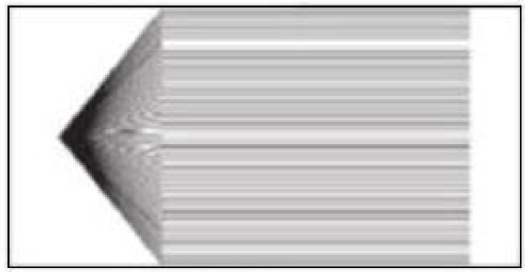
[37] Defourny, B. ve L. Wehenkel, "Projecting Generation Decisions Induced by a Stochastic Program on a Family of Supply Curve Functions", (Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry, Mart, 2007), s.4.
[38] http://www.bized.co.uk



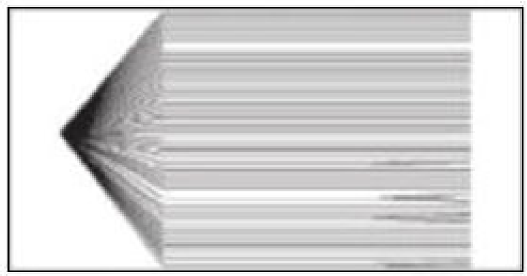
Şekil 1.8 Basit Bir Senaryo Ağacı Yapısı[39]

Şekil 1.8' de bir senaryo ağacının yapısı görülmektedir. Senaryo ağaçları yapısal olarak kök, düğüm ve dallardan oluşur. Bir senaryo ağacının başlangıç noktası köktür. (A noktası). Kök düğüm, karar vericinin karar seçimi yaptığı ya da belirsiz bir sonuçla karşı karşıya kaldığı noktadır. Senaryo ağacı üzerinde kök düğümü takiben karar düğümü yer almaktadır. Karar düğümleri karar verici tarafından yapılacak seçimleri ifade eder. Kök düğümden sonra senaryo ağacında her bir düğümü (B noktası) dal/dallar (C noktası) takip eder. Düğümler, karar vericinin alacağı karara göre ağacın belirli olasılıklarla dallara ayrılacağı noktadır ve gerekirse her bir kökten birden fazla dal çıkabilir. Senaryo ağacında tüm dallanmalardan sonra en son olay düğümü yer almaktadır. Olay düğümleri mümkün tüm sonuçları sahip oldukları olasılıklarla birlikte göstermektedir. Olay düğümlerinden sonra senaryo ağacı son kez dallara ayrılmakta ve böylece son düğümlere ulaşılmaktadır. Son düğümler senaryo analizi sonucunda verilen kararlara bağlı olarak elde edilen sonuçları göstermektedir.

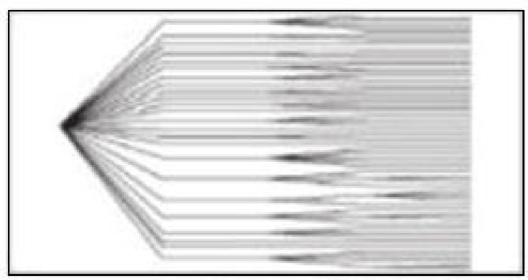
[39] Damodaran, Aynı, 11.



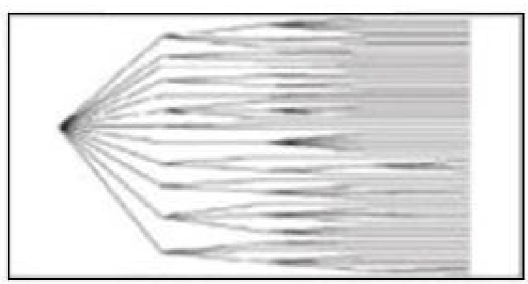
(a) Başlangıç Aşaması



(b) Birinci Aşama



(c) İkinci Aşama



(d) Üçüncü Aşama

Şekil 1.9 Bir Senaryo Ağacının Dallara Ayrılması[40]

---

[40] Andis Möller, Werner. Römisch, ve Klaus Weber, "A New Approach to O&D Revenue Management Based on Scenario Trees", Journal of Revenue and Pricing Management, Vol. 3, No. 3, (Macmillan: 2004), s.271.

Şekil 1.9‘ da senaryo ağacının aşama aşama dallara ayrılışı görülmektedir. Ağacın başlangıcında (a) hiçbir dallanma yok iken, 1. aşamada (b) bazı düğümlerin dallara ayrıldığı görülmektedir. Takip eden aşamalarda da benzer durum gözlemlenerek son aşamada (d) ulaşılmaktadır. Düğümlerin son kez dallara ayrılması ile senaryo ağacının son haline ulaşılmaktadır. Bu noktada oluşan sonuçlar probleme ait optimum sonuçlardır.

Senaryo ağaçları sahip oldukları basit yapılarından dolayı operasyonel kararlar verebilmek için oldukça kullanışlı olduklarından tercih edilirler. Ayrıca veri modelini açık ve mantıklı bir şekilde temsil ettikleri için verilerin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlarlar.[41] Senaryo ağaçları meydana gelebilecek her bir olayın gösteriminde olasılıkların kullanılması sayesinde olayların seçilmesi sırasında karar vericiye esneklik sağlamaktadır, ayrıca senaryo ağaçları karar verme sürecine bilimsel bir yaklaşım sağlamaktadır.[42]

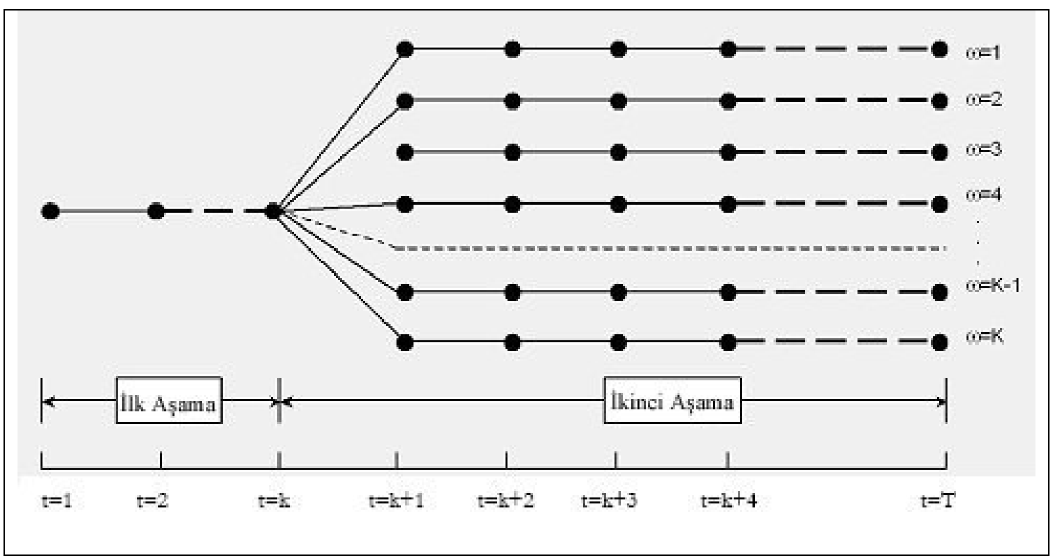
Senaryo ağaçları iki-aşamalı ve çok-aşamalı stokastik programların çözümünde oldukça sık olarak kullanılmaktadır; çünkü senaryo ağaçları stokastik programlama modellerinde ele alınan her bir aşamanın sistematik olarak gösterilmesini sağlamaktadır. Bu aşamalardaki gerçekleşmeler tesadüfi değişken ξ ile gösterilmektedir, $\omega = (\omega_1, ..., \omega_T)$, $\Omega = \{\omega^1, \omega^2, ..., \omega^N\}$. Burada Ω, senaryo seti olarak adlandırılmaktadır. Bir problemdeki toplam senaryo sayısı $\Omega = \Omega_1 \text{ x } \Omega_2 \text{ x} \ldots \text{x } \Omega_T$ formülü ile hesaplanabilmektedir.

Tazminli iki aşamalı stokastik programlar, düzenlendiği zaman tesadüfi parametrelerin gerçekleşmelerini gösteren geniş-ölçekli doğrusal programların yapısal biçimini alırlar. İki-aşamalı durumda, bir modelin tüm tesadüfi parametrelerinin vektörü ξ’ nin olasılık dağılımının, ξ’ nin sonlu sayıdaki gerçekleşmeleri (ξ_k) ile kesikli olduğu varsayılmaktadır. Her bir gerçekleşmenin olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

[41] Demet Nar ve Neşe Alyüz, “Demetleme Yönteminin 3-Katmanlı Mimari Yapı ile Gerçeklenmesi”, http://www.buzluca.info/tezler/b05_1.pdf, s.7.
[42] http://www.bized.co.uk

$$p_k \geq 0 \; ve \sum_{k=1}^{K} p_k = 1 \; iken \qquad p_k = P(\xi_k), \qquad\qquad k = 1,...,K$$

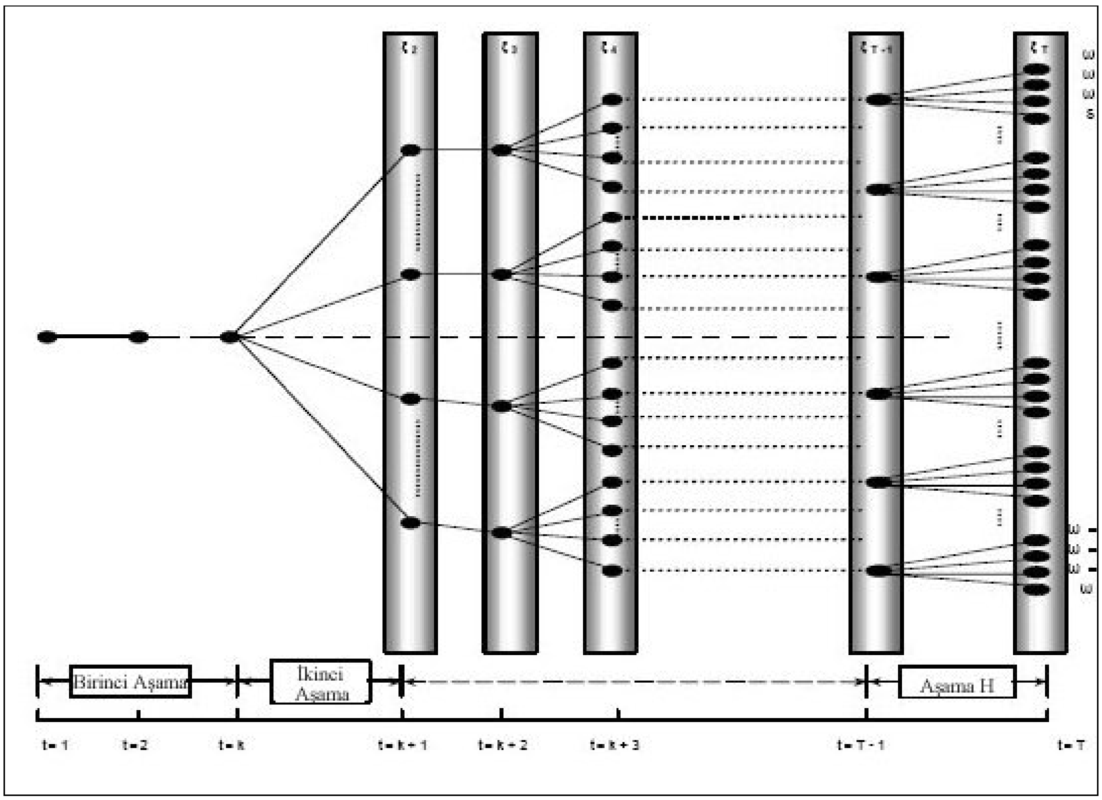
Stokastik programlamada, gelecekteki belirsizliği gösteren tesadüfi veriler senaryo ağacı ile ifade edilmektedir. İki-aşamalı stokastik programlarda ağacın yapısı birinci ve ikinci evreleri özetlemektedir. Planlama sürecinin başlangıcı tek bir kök düğüm ile gösterilmektedir ve ikinci aşamanın sonuna kadar çizgisel olarak düğümlere ayrılarak genişlemektedir. Bu ağaçtaki her bir düğüm, kararlarla ilgili olan bağlantıları göstermektedir. Bir senaryo, yani kök düğümden yaprağa kadar olan bütün bir yol, tesadüfi değişkenler kümesinin tek bir gerçekleşmesini göstermektedir.[43] Birinci aşamadaki her bir düzey tek bir düğüm ile gösterilir çünkü bu aşamadaki veriler kesin olarak bilinmektedir. Şekil 1.10' da görüldüğü gibi, ikinci aşamaya geçildiği zaman dalların her biri *t=k+1* seviyesinde düğümlere ayrılmaktadır. Bu düğümlerin her birinden ayrı senaryolar başlamaktadır ve *t=T* düzeyine kadar her bir zaman periyodunda optimum bir karar verilmelidir.



Şekil 1.10 İki Aşamalı Stokastik Programlama için Senaryo Ağacı

[43] Yu, Ji ve Wang, Aynı, s.2

Çok aşamalı stokastik programlama formülasyonuna karşılık gelen senaryo ağacının gösterimi, $t = 0$ başlangıç zamanında tek bir kök düğüm ile başlayan ve $t = 1$ düzeyinde sonlu sayıda dallara ayrılan bir durum olarak canlandırılabilir. Bu dallanma T düzeyine kadar problemin tüm aşamaları için devam etmektedir. Bir düğümün sonlu sayıda dalı olmasına rağmen, bir dal sadece tek bir ataya sahip olabilir. (child-parent ilişkisi) Çok aşamalı bir senaryonun tüm aşamalarındaki düğümlerin atalarının sayısı birbirine eşitken dengede olduğundan söz edilebilir. ($0<t<T$)



Şekil 1.11 Çok-Aşamalı Stokastik Programlama için Senaryo Ağacı

Çok aşamalı stokastik programlamada, tesadüfi vektör ξ' nin planlanan dönem boyunca ξ_t stokastik sürecini takip ettiği varsayılmaktadır. Sürecin kesikli olduğu varsayılırsa, $P(\xi_k)$ olasılığı ile belirsizlik, veri yolları olarak da bilinen birbirini izleyen mümkün gerçekleşmeleri tanımlayan çok aşamalı bir olay ağacı yoluyla da ifade edilebilir.

Ağaçtaki düzeyler, karar aşamalarını göstermektedir. Özellikle, N_t' yi t seviyesindeki düğümler seti olarak gösterirsek her bir düğüm, $n \in N_t$, veri sürecindeki her bir özel gerçekleşmeyi gösterir ve belirli bir zamanda sistemin özel bir durumu olarak düşünülebilir. t düzeyindeki her bir düğüm *(n)'* un olasılığı *(* δ)

$$\delta_n = p\{\xi_t \mid \xi_{t-1} \mid ... \mid \xi_2\} \quad \sum_{n \in N_t} \delta_n = 1, \delta_n > 0, \; t = 2,..,T \tag{1.11}$$

ile gösterilebilir.

Böylece ağaçtaki her bir yay ξ_t' nin olasılık dağılımını göstermektedir.

Aşamaların, dönemlerin ve dallanma sayılarının seçimi belirsizliğin doğru bir şekilde gösterimi için önemli bir başlangıç adımıdır. Aşamalarla dönemlerin ayırımı temelde çok önemlidir; çünkü özel bir uygulamada dönemlerin sayısının karşı gelen düğümlerin sayısından daha fazla olması daima mümkündür. Böylece iki düğüm arasında, ikiden daha fazla dönem var olabilir. Bunun sonucu olarak iki-aşamalı stokastik programda aşama sayısı iki olarak sabitlenmiştir; ancak tazmin faaliyetleri için dönem sayısının kararı mutlaka tanımlanmalıdır. Genellikle, aşamalar ve dönemler zamanın belirli anları ile ilişkilidir ve bu durum planlama sürecinde karar verici için oldukça önemli bir durumdur.[44] Bir sözleşmenin son günü ya da emekli aylığının ödenme günleri bu gibi durumlar için verilebilecek örneklerdir. Portföyünü çeyrek yıllık olarak dengelemek isteyen ve 12 aylık bir planlama süreci olan bir portföy yöneticisi için problem, her biri üç dönemden oluşan ve dört karar aşaması olan bir çok aşamalı stokastik programlama modeli olacaktır.

3.2 Senaryo Türetmek İçin Yöntemler

Stokastik programlama problemlerinde tesadüfilik senaryo ağaçları ile oluşturulmaktadır. Bu yüzden sonlu sayıda sonucun kesikli dağılımları kullanılarak tahminlenebilmesi için tesadüfi parametrelerin olasılık yoğunluk fonksiyonlarına

[44] Nico Di Domenica ve diğerleri, Aynı, s.22.

gereksinim duyulmaktadır. Verilerin senaryo ağaçları kullanılarak tahminlenmesi yaklaşımına *senaryo türetme* adı verilmektedir.

Senaryo türetimi hesaplama işleminin doğruluğu için oldukça önemlidir. Eğer dağılımlar önceden tahminlenmezse elde edilen hesaplamaların problem için uygulanabilirliği pek mümkün olmayabilir. Senaryo türetme bir finansal risk yönetim aracı olarak oldukça önemlidir.

Menkul kıymet getirilerine ait senaryoları türetmek için dört özel yöntem bulunmaktadır:[45] Özellik Eşleştirme (Property Matching), Stokastik Süreç Benzetimi (Stochastic Process Simulation), Hata Düzeltme Modeli (HDM, Error Correction Model - ECM) ve Vektör Otoregresif Modeller (Vector Auto-regressive Models - VAR).

3.2.1 Özellik Eşleştirme

Özellik eşleştirme bir tesadüfi değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu bilgisine gereksinim duyulmadan kullanılabilen bir tahmin tekniğidir. Tesadüfi değişkene ait dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu yerine istatistiksel momentler ya da yüzdelik değerler gibi başka özellikler yardımıyla tanımlanabilmektedir. Bu özelliklerden probleme uygun kesikli bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ya da senaryo ağacı oluşturulabilmektedir.

Hoyland ve Wallace istatistiksel özellik eşleştirme yöntemini kullanarak bir senaryo türetme yöntemi geliştirmişlerdir. Gerçekte bir senaryo ağacı kesikli olasılık yoğunluk fonksiyonunu belirtmektedir. Hoyland ve Wallace belirsiz tesadüfi değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını eşleştiren bir senaryo ağacı oluşturmak için bu yöntemi önermişlerdir.

Hoyland ve Wallace, senaryo ağacı ile beklenen dağılım arasındaki her noktada hata farklarını minimize etmek yerine, olasılık yoğunluk fonksiyonlarının momentleri arasındaki hata farklarını minimize etmişlerdir.

---

[45] Mitra, s.18.

Moment hata farklarını minimize eden en iyi senaryo setini bulabilmek için öncelikle türetilmek istenen senaryo sayısı belirtilmelidir. Doğal olarak ne kadar çok senaryo kullanılırsa elde edilen sonuçlar da gerçek değerlerine o kadar yakın olacaktır. Probleme ait amaç fonksiyonu, senaryo ağacının sonuç olarak elde edilen momentleri ve tesadüfi değişkenlerin momentleri arasındaki hatayı minimize etmek iken senaryo ağacının değerleri ve dal özellikleri doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Burada ilginç olan, momentlerin çok az sayıdaki senaryo ile de iyi eşleşme sağlayabilmesidir. Bu eşleşme, örnekleme için önemli bir avantajdır; çünkü senaryo türetmek için olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanıldığında örneklemeler çok fazla sayıda senaryo türetimi ile sonuçlanabilmektedir.

3.2.2 Stokastik Süreç Benzetimi

Finansal alanda tesadüfi değişkenlerin çoğu stokastik bir süreci takip etmektedir ve bu değişkenlerden senaryoların elde edilebilmesi için benzetim yapılmaktadır. En çok kullanılan stokastik süreçler Geometrik Brownian Hareketi ve değişkenlerini içermektedir. Geometrik Brownian Hareketi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dB(t) \tag{1.12}$$

Bu modelde *S(t)* menkul kıymetin fiyatıdır. μ ve σ sırasıyla fiyatlardaki düşmeler ve değişkenliklerdir. *dB(t)* terimi Brownian Hareketi' ni göstermektedir. Böylece, verileri Brownian Modeline tesadüfi olarak yerleştirip *S(t)*' yi hesaplayarak belirli bir zaman aralığında stokastik süreçlerin benzetimi yapılabilmektedir.

3.2.3 Hata Düzeltme Modeli

Hata Düzeltme Modeli' nin temeli ekonometriye dayanmaktadır.

$$\Delta Y_t = \theta \Delta X_t + \delta (Y_{t-1}^* - Y_{t-1}) + u_t \tag{1.13}$$

Modelde θ bir sabitken, modellemeye çalışılan değişken Y_t, X_t üzerindeki bir bağımlı değişkendir. Y_{t-1}^*, Y_{t-1}' in tahmin edilen değeridir ve gözlenen değeri ifade etmektedir. $\delta(Y_{t-1}^* - Y_{t-1})$ terimi hata düzeltme terimini ifade etmektedir.

Hata Düzeltme Modeli'nin benzetimi, u_t, hata terimini ifade ediyorken öncelikle verilen bir veri seti için uygun eşitliğin oluşturulmasıyla yapılmaktadır. Daha sonra u_t' nin dağılımından tesadüfi olayların alınmasıyla birinci aşama tahmin edilmektedir. Her olay bir veri yolu yani senaryo oluşturmaktadır ve her senaryo için bütün terimler tekrardan hesaplanmaktadır. Bu süreç bir senaryo ağacı oluşturulana kadar devam etmektedir.

3.2.4 Vektör Otoregresif Modeller

Y_t değişkeni p' ye bağlı olan bir vektör otoregresif modeldir ve VAR(p) ile gösterilmektedir.

$$Y_t = C_0 + C_1 Y_{t-1} + ... + C_p Y_{t-p} + u_t \qquad (1.14)$$

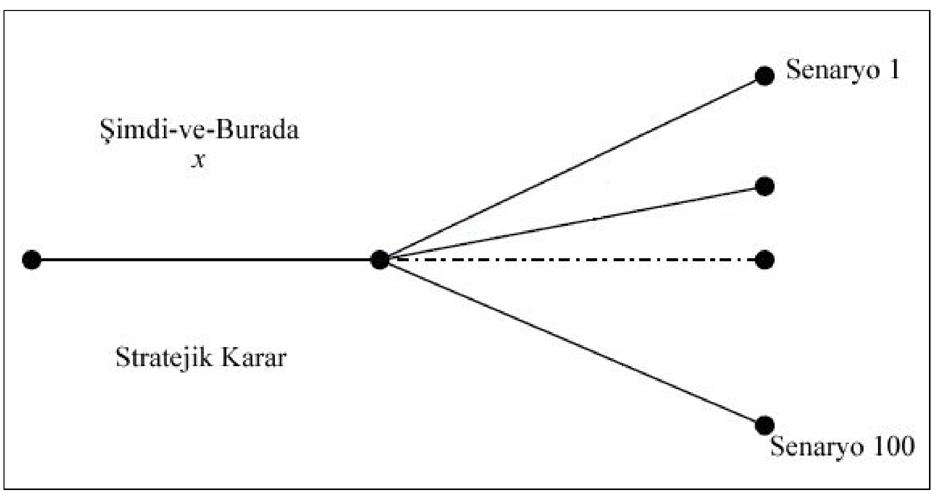
Bu modelde C_n tüm n' ler için sabittir ve u_t de hata terimidir. VAR finans literatüründe stokastik değişkenlerin modellenmesinde sıkça kullanılmaktadır. VAR' in benzetimi öncelikle tarihsel verilerin modele uygulanmasıyla elde edilmektedir, böylece C_n değerleri elde edilmiş olur. Bu model üzerinde u_t' nin dağılımından tesadüfi seçimlerin alınmasıyla birinci aşama tahmin edilmektedir. Her seçim Hata Düzeltme Modeli'nde olduğu gibi bir senaryo oluşturmaktadır ve her senaryo için bütün terimler tekrardan hesaplanmaktadır.

4.STOKASTİK ÖLÇÜMLER VE TİPLERİ

Stokastik programların bilgisayar çözümlerinin zor olduğu bilinmektedir. Bu yüzden kullanıcıların çoğu daha basit problem çözüm tekniklerini tercih etmektedir. Kullanılan bu basit çözümler; örneğin, elde edilen deterministik programın tesadüfi değişkenlerini kendi beklenen değerleri ile yer değiştirmek ya da her biri belirli bir senaryoya karşılık gelen bir çok deterministik programı çözerek daha sonra bu farklı çözümleri deneme yanılma kurallarına bağlı olarak birleştirmektir.[46] Bu çözüm teknikleri *stokastik ölçüm* olarak adlandırılır ve stokastik programlama problemlerinin çözülmesiyle elde edilen sonuçların etkinliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu ölçütler; Şimdi-ve-Burada Problemleri (Here-and-Now,HN), Bekle-ve-Gör Problemleri (Wait-and-See,WS), Beklenen Değer Problemi (Expectation of the Expected Value - EEV), Stokastik Çözümün Değeri (The Value of the Stochastic Solution - VSS) ve Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri (The Expected Value of Perfect Information - EVPI)' dir.

4.1 Şimdi-ve-Burada (Here-and-Now) Problemleri

Şimdi-ve-Burada problemleri iki-aşamalı ya da çok-aşamalı stokastik programlama problemlerinin ilk aşamalarında verilen kararlardan oluşmaktadır. Bu kararlar Şekil 1.12' de görülmektedir.



Şekil 1.12 İki-Aşamalı Senaryo Ağacı ve Şimdi-ve-Burada Kararı

[46] John R.Birge, ve Francis Luveaux. Introduction to Stochastic Programming, (New York: Springer, 1997), s.137.

İki-aşamalı stokastik programlama modelinin gösterimi

$$\bar{Q}(x) = \min E_{\xi}[q(w)\,y(w)] \tag{1.15}$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} &T(w)x + Wy(w) = h(w) \\ &y(w) \geq 0 \\ &w \in \Omega \end{aligned} \tag{1.16}$$

iken aşağıdaki gibidir:

$$\min z = c^T x + \bar{Q}(x) \tag{1.17}$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} &Ax = b \\ &x \geq 0 \end{aligned} \tag{1.18}$$

Daha önce belirtildiği gibi A matrisinin ve b vektörünün değerleri bilinmektedir. $Q(x,w)$ *tazminli fonksiyon* olarak adlandırılan doğrusal olmayan bir fonksiyondur. *T(w)* teknoloji matrisi, *Wy(w)* tazminli matris, *h(w)* sağ taraf vektörü ve bu doğrusal programın amaç fonksiyonunun katsayılarının vektörü *q(w)* tesadüfi olabilmektedir. Verilen herhangi bir birinci aşama kararı *x* için, *Q(x)* düzeltme fonksiyonuyla birleştirilen problem çözülerek *x*'e ilişkin tazmin faaliyetleri olan *y(w)* değerleri elde edilebilir.

4.2 Bekle-ve-Gör (Wait-and-See) Problemleri

Bekle-ve-Gör problemleri karar vericinin optimal kararları uygulamadan önce belirsizlik giderilinceye kadar bekleyebileceğini varsaymaktadır. Bu yüzden bu yaklaşım gelecekle ilgili olan mükemmel bilgiye dayanmaktadır. Bekle-ve-Gör problemleri varsayımlara dayandığından çözümleri uygulanamamakta ve *pasif yaklaşım* olarak adlandırılmaktadır. Bu problemler amaç fonksiyonunun olasılık dağılımını analiz etmek için kullanılmaktadır ve her biri bir senaryo ile bütünleştirilmiş doğrusal programlama modellerinden oluşmaktadır.

4.3 Beklenen Değer Problemi

Beklenen değer problemi, tesadüfi değişken değerlerinin kendi beklenen değerleri ile yer değiştirilmesiyle elde edilmektedir. Ele alınan optimizasyon problemi kurulmadan önce belirsizlik tanımlanmaktadır. Beklenen değer problemleri karar problemi hakkında fikir kazandırması amacıyla formüle edilip çözülmektedir.[47]

$Z_{EEV},\ Z_{HN}$ ve Z_{WS} amaç fonksiyon değerleri arasında şöyle bir sıralama ilişkisi kurulabilir:

$$Z_{WS} \leq Z_{HN} \leq Z_{EEV} \tag{1.19}$$

$Z_{HN} \leq Z_{EEV}$ eşitsizliğinde, ortalama değer yaklaşımının herhangi bir mümkün çözümü, HN modelinde ele alındığı için optimal HN amaç fonksiyonu her zaman daha iyidir.

4.4 Stokastik Çözümün Değeri

HN ve *EEV* çözümü arasındaki fark *Stokastik Çözümün Değeri*' ni tanımlar.

$$VSS = Z_{EEV} - Z_{HN} \tag{1.20}$$

Bu değer, *HN* çözümünü uygulayarak deterministik beklenen değer çözümüne karşı ne kadar tasarruf edilebileceğini gösteren bir ölçümdür. *VSS*' nin hesaplanması, Z_{EEV}' nin hesaplanmasında kullanılan yaklaşımla oldukça ilişkilidir.

4.5 Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri

Stokastik ölçümler açısından diğer bir önemli gösterge de Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri' dir. Bu ölçüm değeri ise, HN ile WS arasındaki farkın hesaplanmasıyla elde edilmektedir.

$$EVPI = Z_{HN} - Z_{WS} \text{ dir.} \tag{1.21}$$

[47] Domenica, s.12.

Stokastik optimizasyon problemlerinin bu özelliği karar vericinin gelecekteki senaryolarla ilgili olarak mükemmel bilgiye ulaşabilmek için ödemeye razı olduğu miktar olarak yorumlanır. "*nispeten küçük EVPI*" daha iyi tahminlemelerin çok fazla gelişmeye neden olmayacağı, "*nispeten büyük EVPI*" ise, gelecek ile ilgili olan eksik bilginin daha maliyetli olacağı anlamına gelmektedir.

4.6 EVPI ile VSS' nin Sınırları

$EVPI$ ve VSS ile ilgili bazı gerekli sınırlandırmalar aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} &0 \le EVPI \le Z_{HN} - Z_{EV} \le Z_{EEV} - Z_{EV} \\ &0 \le VSS \le Z_{EEV} - Z_{EV} \end{aligned} \tag{1.22}$$

Bu sınırlandırmalar maliyetli stokastik programlama çözümünün bilgisayarda uygulanmasını ve doğrusal programlamanın beklenen değer işlemi ile elde edilen çözüm yaklaşımlarına karşı tahmin etmeye yardım etmektedir[48]

5. STOKASTİK PROGRAMLAMANIN UYGULAMA ALANLARI

Stokastik Programlama modelleri, verilerin alternatif sonuçlarını gösteren gelecekteki gerçekleşmelerde meydana gelebilecek muhtemel zararları önlemek için planlar geliştirmekte kullanılmaktadır. Bu özelliklerden dolayı stokastik programlama modellerinin elektrik enerji üretimi, finansal planlama, telekomünikasyon ağ planlama, tedarik zinciri yönetimi, petrol sanayi, araba üreticileri, elektrik ikmalcileri, çevre, ulaşım, inşaat, kimyasal işleme, havacılık ve askeri sistemler, vb. alanlarda çok geniş uygulamaları bulunmaktadır.[49] Aşağıda bu uygulamalardan birkaçı ele alınmaktadır:[50]

---

[48] Aynı, s.40.
[49] Chandra A. Poojarı ve Boby Varghese, "Genetic Algorithm Based Technique for Solving. Chance Constrained Problems", SPEPS, Vol.2006,3, (Elsevier: 2006), s.1.
[50] Panos M. Pardalos ve Mauricio G.C.Resende, Handbook of Applied Optimization, (New York: Kluwer Academic Publishers, 2002), s.497.

5.1 Finans

Stokastik Programlamanın finansal alandaki ilk uygulamaları 1970' li yıllarda Bradley - Crane ve Ziemba - Vickson tarafından yapılmıştır.[51] Birçok akademisyen stokastik programlama modellerinin finansal karar verme uygulamalarındaki güçlü etkisini yaptıkları çalışmalarla ispatlamıştır. Örneğin; Kusy ve Ziemba (1986) - banka yönetimi, Mulvey ve Vladimirou (1992) – portföy analizi, Zenios (1991,1995), Golub (1995), Nielsen ve Zenios (1996) - portföy yönetimi, Carino ve Ziemba (1998), Consigli ve Dempster (1998), Hϕyland (1998), Mulvey, Gould ve Morgan (2000) - sigorta şirketleri ve Dert (1995) emekli aylıkları üzerine çalışmışlardır.

Finansal Optimizasyon belirsizlik altında karar vermenin en ilgi çekici alanlarından biridir. Verilebilecek en seçkin örnekler; aylık emekli maaşları ve sigorta şirketleri için varlık tahsisi, hisse senedi ve tahvil portföyü yöneticileri için menkul kıymet seçimi, çok uluslu şirketlerde maddi zararı önleme, büyük ölçekli kamu şirketlerinde risk yönetimi, vb.dir. Bu gibi durumlarda, dönem ve belirsizlikler önemli ölçüde rol oynarlar. Örneğin, bir emekli aylığı planlamasında, yatırım stratejisinin uzun dönem ve kısa dönem sonuçlarının her ikisine de odaklanılmalıdır. Emeklilerin ihtiyaçları yerine getirilip risk azaltılırken, aylık katılım harcamaları minimize edilmelidir. Bunun yanısıra finansal planlama problemlerinde, ekonomik faktörler, ele alınan menkul kıymetlerin fiyatları, nakit akış miktarı gibi birçok belirsizlik bulunmaktadır[52]; çünkü finansal problemler yapıları gereği belirsizlik içerirler. Deterministik yaklaşımlar oldukça kusurlu sonuçlar içerdiğinden dolayı, bu problemlerde genellikle stokastik programlama ile elde edilen çözümler kullanılmaktadır. Bir stokastik programın amacı, deterministik yaklaşımın elde edemeyeceği ve zararı önleyen bir strateji geliştirmektir.[53] Tüm bu durumları belirleyebilmek için çok aşamalı stokastik programlama modelleri uygulama için oldukça elverişlidir.

---

[51] Kouwenberg ve Zenios, s.4.
[52] Yu, Ji ve Wang, s.1
[53] Pardalos ve Resende, s.497.

5.2 Telekomünikasyon

Telekomünikasyon ileri matematiksel modelleme uygulamalarında oldukça uzun bir geçmişe sahiptir. Geleneksel tasarım yaklaşımı, teknoloji ve hizmet kalitesi kısıtları altında ağ maliyetlerinin minimize edilmesine odaklanmışken, stokastik programlama tekniklerinin sistematik uygulamaları gerçek hayat uygulamalarının değerlendirilmesi gibi modern araçların işbirliğini içermektedir. Fiyatlandırma kararları ve ikili değişkenleri içeren geniş kapsamlı modeller, bu metodolojiyi geliştirmek için olanak sağlamaktadır.

5.3 Çevre

Çevresel problemlerin çoğu, iki temel özellikle tanımlanabilir. Bir yandan, çevresel süreçler ve kaynaklar geri dönüştürülemez olarak tanımlanmaktadır; tüketim, dönüşüm, imha etme ve bozulma gibi tek yönlü kararlar, vb. Diğer yandan, doğal süreçler ve bu süreçlere insanların etkisi ile ilgili olarak eksik bilgiden doğan belirsizlikler, uygulanacak modelleme tekniklerini seçmek için oldukça dikkat çekmektedir.[54]

5.4 Enerji Planlama

Enerji Planlama stokastik programlama üzerine yapılan çalışmaların odak noktası haline gelmiştir. Enerji planlamanın stokastik programlamanın üzerine yapılan en son yapılan çalışmalarından biri sera etkisinin zararlarına karşı sigorta yaptırmaktır. Bu uygulama, stokastik programlamanın gelecekteki belirsizlikleri modelleyebildiğinin en güzel örneklerinden biridir.

5.5 Su Kaynakları Planlaması

Su Kaynakları Planlamasının stokastik programlama yaklaşımı ile geniş uygulama alanları mevcuttur. Bu alandaki en iyi uygulamalardan biri Prékopa ve Szántai tarafından 1976 yılında yapılmıştır. Yapılan çalışmada, Balaton Gölü' nün su seviyesi düzenlenerek stokastik programlamanın sel, vb. felaketleri önleyebildiği ispatlanmıştır. Hava ve çevre kirliliği üzerine yapılan çalışmalar da oldukça yaygındır.

[54] Domenica, s.8.

İKİNCİ BÖLÜM

PORTFÖY OPTİMİZASYONU

1. PORTFÖY YÖNETİMİ

Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik yönden kalkınmalarını sağlamada en önemli faktörlerden biri sermayedir. Sermayeyi, sermaye piyasaları açısından "kısa, orta ve uzun vadeli fonlar" olarak tanımlamak mümkündür. Ülke içindeki tasarrufların etkin, verimli ve karlı yatırım alanlarına yönlendirilmesi, ekonomik kalkınmanın hızlanmasını sağlayacaktır. Bu aşamada sermaye piyasaları devreye girmektedir. Sermaye piyasaları aracılığıyla tasarrufların kalkınmayı hızlandıracak büyük fonlara dönüştürülmesi mümkündür. Bir birey ya da kurum olabilen yatırımcıların tasarruf birikimlerini sermaye piyasalarında kullanmaya başlamaları ile birlikte portföy ve portföy yönetimi teknikleri ve modellerine duyulan ilgi ve ihtiyaç artmıştır.[55]

Bilindiği gibi, değişik menkul kıymetlerden veya yatırım araçlarından çok sayıda portföy oluşturulabilmektedir. Ancak, olaya hisse senedi ve tahvil gibi geleneksel menkul kıymetler açısından bakıldığında üç farklı portföyden söz edilebilmektedir: tamamı tahvillerden oluşan, hisse senedi ve tahvillerden oluşan ve tamamı hisse senetlerinden oluşan portföyler. Bir portföy, hisse senedi ve tahvil gibi temel menkul kıymetler dışındaki yatırım araçlarıyla da oluşturulabilmektedir. Bu tür portföyler oluşturulurken yatırım araçları arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Yatırım süresi boyunca hangi tür varlıkların daha verimli olacağı çeşitli istatistiki tekniklerle hesaplanarak tahmin edilmektedir. Bu varlıklar seçilerek portföye dahil edilmektedir. Hisse senedi ve tahvil dışındaki yatırım araçları şu şekilde sıralanabilir:

---

[55] Murat Atan, "Karesel Programlama ile Portföy Optimizasyonu", VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu'na sunulan bildiri, (İstanbul,. 2005), s.1.

- Varlığa Dayalı Menkul Kıymet
- Finansman Bonoları
- Hazine Bonosu
- Gelir Ortaklığı Senetleri
- Banka Bonoları veya Banka Garantili Bonolar
- Metrekare Konut Sertifikaları
- Mevduat ve Mevduat Sertifikaları
- Repo
- Döviz Tevdiat Hesapları ve Döviz
- Altın

Yatırımcıların portföylerinden beklentileri farklı derecelerde olabileceği için yapılacak bir portföy çeşitlendirme yatırımcıların özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

Portföy yönetiminde değinilmesi gereken bir diğer konu ise, portföy yönetim sürecidir. Portföy yönetim süreci, geleneksel ve modern yaklaşımların bir sentezi olarak ele alınmaktadır.

Yatırım sürecinin ilk aşaması, gelecekteki tüm kararlara yol gösterecek olan yatırım planının oluşturulmasıdır. Bu adım, öncelikle yatırımcı amaçlarının, özelliklerinin ve sınırlılıklarının belirlenmesini ve bu doğrultuda yatırım süresinin açıklanmasını, yatırım süresince meydana gelecek fon hareketlerinin tahminini gerektirmektedir. Yatırım planı, yatırım sürecinin disipline edilmesini ve kişisel etkenlere uygun yatırım kararları alınmasını sağlamaktadır.

Bir portföyden yüksek gelir elde etmek ile önemli sermaye kazancı elde etmek amacı arasında ters yönlü bir ilişki vardır. Her ikisinin kullanılmasındaki güçlük nedeniyle yatırımcı, genellikle birini diğerine tercih etmek zorunda kalmaktadır. Yüksek sermaye kazancı potansiyeli olan bir portföy, sık sık düşük gelir potansiyeline sahiptir, bu durumun tam tersi de geçerli olabilmektedir. Bu nedenle yatırımcılar her ikisi arasında bir denge kurmalıdır.

Portföyde bir başka aşama olan yatırım planı oluşturma aşaması, son portföye ilavesi düşünülen finansal varlık sınıflarının belirlenmesi ile sonuçlanmaktadır. Finansal varlık sınıfları; yatırımcı ile ilgili etkenler, finans pazarının geçmişi ve geleceği ile ilgili beklentilerin derleme ve değerlendirmesine bağlı olarak belirlenmektedir.

Yatırım analizi olarak da adlandırılan menkul değer analizi, portföye alınacak menkul değerlerin niteliklerinin incelenmesi, ölçülmesi, belirli bir süre içinde performanslarının ne olabileceğinin tahmin edilmesidir. Bu aşamada, tek bir menkul kıymeti ifade eden tekil finansal varlıkların performanslarının incelenmesi ve değerlendirilmesinin yanında, ileriye dönük açık ve matematiksel tahminlerin de yapılması gerekmektedir.

1.1 Geleneksel Yaklaşım

1952 yılından önce yatırım yöneticilerinin çoğu, tekil menkul değerlerin seçimi üzerine odaklanmaktaydı. Riskli tekil varlıklar zengin kişilere, güvenilir nitelikteki finansal varlıklar ise görece gelir seviyesi düşük bireylere satılmaktaydı. Savunmacı yatırımcıların politikaları, yüksek kaliteli tahviller ve bazı durumlarda da yüksek kaliteli pay senetleri ile sınırlandırılmaktaydı. Bir portföyün riski ile beklenen getiri oranı, yani belirli bir dönemde yatırımcının servetinde meydana gelen artış arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilmekteydi.[56] Portföy yöneticileri, bilimsel portföy performans ölçülerinden ve güçlü müşteri ilişkilerinden yoksundular.

Buna göre, geleneksel yaklaşımda portföy yöneticilerinin yetenekleri, sezgileri ve öznel kararları ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla, geleneksel yönetim bir bilim değil, bir sanattır. Bu sanat, yatırımcıların arzularına ve kişisel ihtiyaçlarına en uygun menkul değerlerin seçimini gerektirmektedir.

Geleneksel portföy yönetim süreci *yatırımcının amacının belirlenmesi*, *menkul değer seçimi* ve *portföy yönetimi* olmak üzere başlıca üç aşamadan oluşmaktadır. Yatırımcı amaçları, geleneksel yatırımcı özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

[56] Fatih Sargın, "Portföy Yönetiminde Performans Ölçülmesi: İMKB'de Uygulama", http:// wordpress.com/tag/yuksek-lisans-tezi/feed, s.6.

Portföye dâhil edilecek menkul değerlerin seçimi ya tamamen öznel karar kıstaslarına göre ya da temel analizi olumlu veya risk–getiri oranı düşük olan varlıklar arasından yapılmaktadır.

Geleneksel portföy yönetimi basit(yalın-tesadüfi) çeşitlendirme düşüncesine dayanmaktadır. Basit çeşitlendirme, *tüm yumurtaların aynı sepete konulmaması* şeklinde ifade edilmektedir. Bu görüş, servetin sadece tekil riskli varlığa yatırılması durumunda kaybetme olasılığının yüksek olduğunu, dolayısıyla yatırımların çok sayıda, aralarında zayıf yönlü ilişki bulunan varlık sınıfları arasında yapılması gerektiğini savunmaktadır. Ancak, geleneksel görüş varlık fiyatları arasındaki ilişkiyi nicel olarak açıklayamamaktadır.

Geleneksel görüşte, iyi tanınan şirketlere yatırım yapmaları için müşterileri ikna etmek daha kolaydır. Farklı endüstrilere ve genellikle iyi tanınan (başarılı ve kapitalizasyonu büyük) şirketlere ait çok sayıda finansal varlığın pay senedi portföylerine dahil edilmesi (aşırı çeşitlendirme), tahvil portföylerinde ise farklı vadeye sahip tahvillere yatırım yapılması esastır. Geleneksel portföy yöneticileri, bu türden çok sayıda şirkete yatırım yapılması suretiyle, başarısı görece daha az olan şirketlere oranla riskin azaltılabileceğine inanmaktadırlar.[57]

1.2 Modern Portföy Teorisi

Geleneksel portföy yönetiminde, portföyde yer alan menkul kıymetlerin getirileri arasındaki ilişkileri göz önünde bulundurmadan sadece portföydeki menkul kıymetlerin sayılarının artırılmasıyla risk faktörünü azaltılabileceği öngörülmektedir. Ancak bu yaklaşım, modern portföy yönetiminin kurucusu olan Markowitz'in geliştirdiği teoriyle beraber geçerliliğini yitirmiştir. Çünkü, sadece portföy çeşitlendirilmesine gidilerek riskin azaltılamayacağı, portföyde yer alan menkul kıymetler arasındaki ilişkinin yönünün ve derecesinin de riskin azaltılması yönünde etkili olduğu Markowitz Ortalama - Varyans Modeli ile ortaya konulmuştur. Modern Portföy Teorisi, yatırımcının karşılaştığı takası, riske karşı beklenen getiri olarak tanımlamaktadır. Markowitz Ortalama-Varyans Modeli, "*Bütün yumurtalarını aynı*

[57] Aynı, s.38.

sepete koyma" atasözüne matematiksel bir anlam vermiştir. Markowitz modelindeki temel kavramlar aşağıda verilmektedir:

R	:	Portföyün beklenen getirisi
w_i	:	i menkul kıymetinin portföydeki oranı $(0 \leq w_i \leq 1)$ (i=1,…,N)
μ_i	:	i. menkul kıymetin beklenen getirisi
N	:	Menkul kıymet sayısı. i = 1,…, N
σ_{ij}	:	i ve j menkul kıymet getirilerinin kovaryansı, i=1…N, j=1...N
S_p^2	:	Portföyün varyansı

$$Max\ R = \sum_{i=1}^{N} w_i \mu_i \tag{2.1}$$

$$K\iota s\iota tlar\ S_p^2 = \sum_{i=1}^{N} w_i w_j \mu_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^{N} w_i = 1 \tag{2.2}$$

$$w_i \geq 0$$

Markowitz, portföy varyansının büyük ölçüde portföyü oluşturan varlıkların birbirleri ile ilişkisinden kaynaklandığını göstermiştir. Böylece aralarında negatif veya sıfır korelasyon sayısı içeren portföylerin varyansı, varlıkların tek tek ele alındığı durumdan daha düşük olmaktadır. Böyle bir durumda çeşitlendirme yararlı olacaktır.[58]

2. RİSK TÜRLERİ VE KAYNAKLARI

Risk, temel olarak yatırılan paranın kaybedilme tehlikesidir. Daha geniş bir tanımla; bir işleme ilişkin bir parasal kaybın ortaya çıkması veya bir giderin ya da

---

[58] Akay ve diğerleri, "Portföy Seçimi Problemi için KDS/GA Yaklaşımı", Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak.Dergisi, Cilt: 17, No: 4, (Ankara:2002), s.127.

zararın ortaya çıkması ile neticelenebilecek ekonomik faydanın azalma ihtimalidir. Bu ileride olacak olayların belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Anaparanın geri ödenmeme riskinden başka, faiz riski, döviz riski v.b gibi yatırım aracının fiyatını ve dolayısıyla getirisini etkileyen riskler de vardır. Bir yatırımın riski ne kadar yüksekse, o yatırım için vaat edilen getiri de o kadar yüksek olacaktır. Yüksek riskli bir yatırımda eğer beklentiler gerçekleşir ve vaat edilen getiri alınabilirse yatırımdan yüksek gelir elde edilmiş olacaktır. Ancak bu durumda doğal olarak, beklenen yüksek getiriyi elde edememe –hatta yatırılan paranın da kaybedilmesi- tehlikesi de daha büyüktür. Yatırılan paranın kaybedilme tehlikesinin düşük olduğu yatırımlardan beklenecek getiri ise nispeten düşük olmaktadır. Buna göre, yatırımcının yatırım yaparken ne kadar riske katlanabileceğini çok iyi tartması gerekmektedir. Vaat edilen getiri yükseldikçe beraberinde riskin de arttığı unutulmamalıdır. Bu, finansal piyasaların temel kuralıdır.[59]

Portföy yönetiminin en önemli fonksiyonlarından biri, risk ve getiri arasında ilişki kurmaktır. Herhangi bir menkul kıymete yatırım yaparken dikkate alınması gereken en önemli unsur, bu ilişkiyi daima göz önünde tutmaktır; çünkü yatırım araçlarının seçimi, büyük ölçüde bu iki unsurun karşılaştırılmasını ve bunlar arasında uygun bir değişimin saptanmasını gerektirmektedir. Genellikle yatırımcılar, getiri oranı hakkında oldukça fazla bilgi sahibi oldukları halde, risk kavramı hakkında yeterli bir bilgiye sahip olamamaktadırlar. Bu nedenle, risk türleri ve toplam riskin kaynaklarının neler olduğunun açıklanması bilinçli yatırım kararlarının alınması yönünden çok büyük önem taşımaktadır. Portföy kuramında yatırımcının riski kontrol altına alabilme veya sınırlayabilme olanağının olup olmamasına göre toplam risk, sistematik ve sistematik olmayan risk olarak iki ana gruba ayrılabilir.[60]

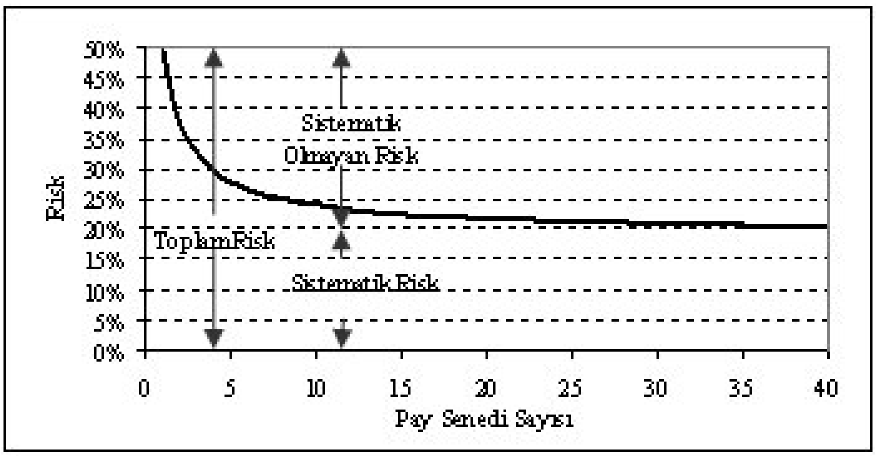
Sistematik olmayan risk, sadece menkul değeri ihraç eden firmadaki ya da belirli bir endüstri kolundaki değişimlere bağlı olarak kontrol edilebilir, içsel ve etkileri dar olan etkenlerdir. Bu etkenler, genel olarak menkul değer pazarını etkileyen dışsal etkenlerden büyük ölçüde bağımsızdır. Örneğin, firmayı ilgilendiren davalar, grevler,

---

[59] Güray Küçükkocaoğlu, "Risk Yönetimi ve Riske Maruz Değer", http://www.baskent.edu.tr/~gurayk/finpazcuma24.doc, s.1.
[60] Zülal Güngör ve Özgür Demirtaş. "Portföy Yönetimi ve Portföy Seçimine Yönelik Uygulama", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt:1, Sayı:4 (Temmuz, 2004), s.104.

pazarlama programlarındaki başarılar ve başarısızlıklar, önemli iş anlaşmalarının kazanılması veya kaybedilmesi gibi firmaya özgü olaylar, pazarda mevcut olan tüm varlıkları değil, ortaya çıktığı belirli bir işletmeyi veya endüstri kolunu etkilemektedir.

Toplam riskin ikinci unsuru olan sistematik riskin kaynakları ekonomik, politik, sosyal ve fiziki çevrelerdeki değişmelerdir. Diğer deyişle, kontrol edilemeyen, etkileri geniş ve dışsal olan güçlerdir. Sistematik risk kaynakları, tahvil veya pay senedi gibi belirli bir varlık türü içinde yer alan tüm menkul değerleri farklı derecede; fakat aynı yönde etkilemektedir.



Şekil 2.1 Tesadüfi Çeşitlendirme ile Yıllık Riskte Azalma[61]

Geleneksel portföy yönetimine göre, çeşitlendirmenin tesadüfi olarak yapılması durumunda yatırımcı, basit bir şekilde görece daha yüksek sayıda menkul değerlere eşit tutarda yatırım yaparak sistematik olmayan riski azaltabilmektedir. 1987'de Statman tarafından yapılan çalışmada, tesadüfî çeşitlendirme için gerekli pay sayısı araştırılmıştır. Bu çalışma, tesadüfi olarak seçilen eşit ağırlıklandırılmış portföyler oluşturulmuş, böylece farklı sayıda menkul değer içeren portföylerin her birine ilişkin standart sapmalar hesaplanmıştır. Şekil 2.1' de açıkça görüldüğü gibi, portföydeki pay senedi sayısı arttıkça portföyün riski azalmaktadır. Bu azalma başlangıçta daha hızlıdır. Portföye daha fazla pay senedi alındıkça, çeşitlendirmenin marjinal faydası düşmektedir. Pazar portföyünün tümü

[61] Sargın, Aynı, s.37.

elde tutulsa bile risk tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Sistematik olmayan riskin önemli derecede azaltılması için tesadüfî olarak seçilen 15–20 adet pay senedine gereksinim duyulmaktadır. İşlem maliyetlerinin dikkate alınması durumunda ise bu sayı 30'a ulaşabilmektedir.[62]

Bununla birlikte, basit çeşitlendirmenin ardında önemli sakıncalar bulunmaktadır. Tesadüfi olarak seçilen menkul değer getirileri arasındaki ilişkilerin oldukça düşük olduğu kabul edilse bile, seçilen varlıklara ilişkin beklenen getirilerin görece daha az veya risklerinin daha yüksek olması olasıdır.[63]

Risk yönetimi; muhtemel risklerin veya mümkün risklerin saptanıp bertaraf edilmesi, bertaraf edilemiyorsa azaltılması veya telafi edilmesi üzerine kurulmuş bir teknik ve bu tekniğin ulaştığı bir sanattır. Risk yönetimi öncelikle bir olayı fark etmek, o riskleri belirleyebilmektir. Riskler belirlendikten sonra bazıları kısa sürede telafi edilebilir, bazılarının ise sigorta yönü ortadan kaldırılabilir. Başka bir deyişle risk yönetimi, sigorta alımının dışında bir kuruluşun veya bir konunun tüm risk faktörlerini ortaya çıkarmak, bunlardan hangileri ortadan kaldırılabilir, ortadan kaldırılamayacaksa kabul edilebilir mi, kabul edilenlerin hangileri finansal yöntemlerle yani sigortayla ortadan kaldırılabilir sorularını cevaplamaktır. Risk yönetimi, bütün bu sürecin toplamıdır.[64]

2.1 Risk Ölçüm Teknikleri

Gelecekle ilgili belirsiz olayların olasılıklarını belirlemek zor olabilir, fakat imkansız değildir. Geçmişteki tecrübeler ve kısıtlı bilgi kullanılarak bir portföye ait menkul kıymetlerin olasılık dağılımları oluşturulabilmektedir. Dağılım belirlendikten sonra portföyü çevreleyen risk çeşitli yöntemler kullanarak hesaplanabilir. Bu yöntemler Ortalama-Varyans, Olumsuz (Downside) Risk, Semi-Varyans ve Riske Maruz Değer (RMD)' dir.[65].

[62] Aynı, s.38.
[63] Aynı, s.104.
[64] Küçükkocaoğlu, s.1.
[65]"Risk Yönetimi",http://www.turk-ie.org/cms/index.php?option=com_docman&task=down&bid=67, s.13

2.1.1 Ortalama-Varyans Modeli

1956 yılında Markowitz tarafından geliştirilen ortalama - varyans modeli ve daha sonra 1956'da Wolfe'nin bulduğu etkin çözüm, modern portföy seçimi için bir temel teşkil etmektedir. Markowitz, portföy getirisinin ortalama ve varyans seçimine göre iyi tanımlanan portföy seçim probleminden elde edilen beklenen kazancı ifade eden bir model geliştirmiştir. Modern portföy yaklaşımı, yatırımcının kabul ettiği risk düzeyinde yatırımından beklediği getiriyi tanımlar. Bu modele ilişkin tanımlanan varsayım, yatırımcının tüm varlığını seçilen portföye dağıtması gereğidir.[66]

Ortalama - Varyans modelinde kullanılan değişkenler beklenen getiri ve varyanstır. İki portföy seçeneği arasında beklenen getirisi yüksek olan veya aynı beklenen getiri düzeyinde riski düşük olan alternatif tercih edilmektedir.

2.1.2 Semi-Varyans

Standart sapma sadece beklenen değerden daha düşük olan kötü sonuçları değil, ayrıca beklenen değerden daha yüksek olan iyi sonuçları da içermektedir. Dolayısıyla, standart sapmanın kullanılması ile risk ölçümünde fiyat düşme riski (downside risk) ve fiyat yükselme riski (upside risk) de dikkate alınmaktadır. Fiyat düşme riski, bir projenin beklenen getiriden daha az bir getiri sağlama ihtimali ve fiyat yükselme riski de tam aksine bir projenin beklenen getiriden daha yüksek bir getiri sağlama ihtimalidir.[67]

Bazı portföy yöneticileri, beklentilerden tüm sapmaları analiz eden sapma ölçütünün kullanılması yerine, yatırımcıların sadece beklentilerin (ortalama getirilerin) altındaki getiriler ile ilgilendiklerine inanmaktadır. Sadece ortalama değerin altında kalan sapmaların düşünüldüğü bu ölçü, semi-varyans (yarı-varyans) olarak ifade edilmekte ve fiyat düşme riskini yansıtmaktadır. Bu ölçü, (3.5)' teki gibi hesaplanabilir.[68]

---

[66] Nihat Bozdağ, Şenol Altan ve Sibel Duman, "Minimaks Portföy Modeli ile Markowitz Ortalama Varyans Portföy Modelinin Karşılaştırılması", VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu'na sunulan bildiri, (İstanbul. 2005), s.4.
[67] "Risk Yönetimi", http://www.turk-ie.org/cms/index.php?option=com_docman&task=down&bid=67, s.13
[68] Sargın, s.21.

$$VAR_{YARI} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{n} (R_i - \mu)^2 \qquad (2.5)$$

Burada;

N : Toplam menkul kıymet sayısı,

R_i : Menkul kıymetin getiri oranı,

µ : Menkul kıymet getirilerinin ortalaması,

n : Ortalama getiriden küçük ve ortalama getiriye eşit menkul kıymet sayısı.

2.1.3 Riske Maruz Değer

Elde tutulan bir portföy ya da varlığın beklenen getirisinde, faiz oranlarında, döviz kurlarında ve hisse senedi fiyatlarındaki dalgalanmalar nedeniyle meydana gelebilecek değişiklikler sonucunda maruz kalabileceği en yüksek zararı, belli bir zaman diliminde ve belli bir olasılık seviyesinde ifade etmeye yarayan ve muhtelif sayısal yöntemlerle tahmin edilen değerdir.[69]

Riske Maruz Değer (RMD, Value-at-Risk, VaR), farklı pozisyonlar ve risk faktörlerinden kaynaklanan riski bir araya getirebilme, tek bir değerde ifade edebilme şansı vermektedir. Ayrıca RMD risk faktörleri arasındaki korelasyonu da dikkate almakta, birbirini yok eden/azaltan riskler varsa toplam risk değerini daha az olarak bulmaktadır.[70]

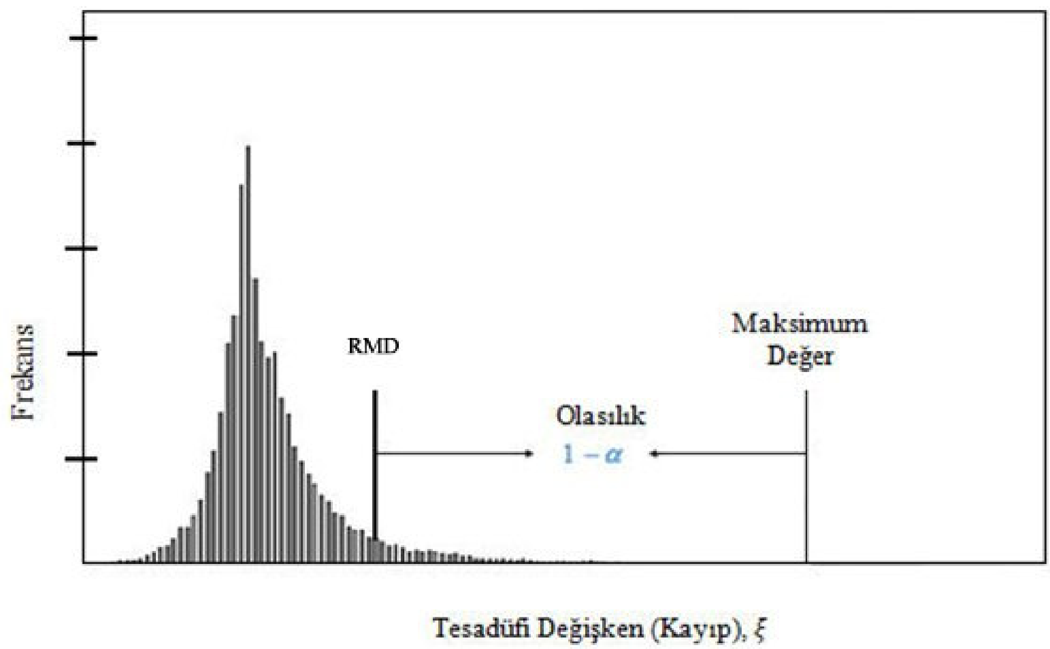
RMD, bir organizasyonun portföyünün gelecekte piyasadaki değişkenliklerden (faiz değişimleri, kur farkları vs.) kaynaklanan zarar olasılığının ölçümüdür. Bir RMD analizinin klasik bir sonucu “gelecek hafta içerisinde banka %5 olasılıkla 5 milyon TL’

---

[69] Aslı İlhan, “Riske Maruz Değer”, http://www.riskyonetimi.com/valueatrisk(tur(kce).doc (Ankara: Başkent Üniversitesi, 2002), s.5.

[70] Aydan Aydın, “Sermaye Yeterliliği ve VAR: Value At Risk”, Türkiye Bankalar Birliği Bankacılık ve Araştırma Grubu, (Eylül, 2000), s.7.

den daha fazla kayba uğrayabilir” şeklinde bir ifade olabilmektedir. Buradan kısaca “RMD, olası kaybın ifade edilmesidir” şeklinde tanımlanabilir.[71]



Grafik 2.1 Riske Maruz Değer[72]

Geliştirilen RMD sistemlerinin tamamı portföy teorisine dayalı olmamış, bazıları tarihi kar ve zarar rakamlarını kullanmış, bazıları ise Monte Carlo simülasyon tekniğine dayalı olarak geliştirilmiştir. JP Morgan RiskMetrics’i ve onun için gerekli veri setini Kasım 1994’te ücretsiz olarak kullanıma sunmuştur. Bunun ardından RMD daha yaygın bir kabul ve kullanım bulmuş, sadece menkul kıymet işlemleri ile uğraşanlar değil bankalar, emeklilik fonları, diğer finansal kurumlar ve mali olmayan şirketler tarafından da uygulanır hale gelmiştir.

Son 20-30 yıl içerisinde meydana gelen büyük finansal krizlerin pek çoğunun kaynağını yetersiz risk yönetiminden yararlanan kurumların, karşılayabileceklerinden fazla risk üstlenmeleri oluşturmuştur. Bu krizleri takiben uluslararası düzenlemeciler,

---

[71] İlhan, s.5.
[72] Aynı, s.6.

konuya daha ihtiyatlı yaklaşmışlardır; ancak düzenlemelerin yine de yetersiz kaldığı görülmüştür. Düzenleyiciler artık uluslararası alanda faaliyet gösteren bankaların hem rekabet eşitliğini koruyabilmek hem de aşırı risk üstlenimi nedeniyle ortaya çıkabilecek krizlerin ülke ekonomilerini etkilemesini önleyebilmek için çalışmaktadırlar. Bu amaçla yapılan düzenlemelerde kurumların içsel risk ölçüm yöntemi olarak RMD'ı kullanmalarına olanak tanınmıştır.

RMD riskin ölçülmesi için kullanılabilecek araçlardan biridir ve aldığı pek çok eleştiriye rağmen dünya çapında yaygın kullanım görmektedir. Belli bir yüzde olasılıkla, belli bir dönem için riske maruz kalan değeri hesaplamakta, (risk) yöneticilerin önlerini görmelerine, karar alma süreçlerine katkıda bulunmaktadır.

Ancak RMD' nin da kısıtları olduğu ve tek başına tam bir risk yönetimi sağlamadığı, risk ölçümünde bir araç olduğu unutulmamalıdır. Model kullanılıp eksik kaldığı noktalar ortaya çıktıkça, bu eksikleri gidererek yerine geçebilecek yeni yöntemler geliştirilebilecektir.

2.1.3.1 Parametrik RMD

RiskMetrics'i geliştirirken JP Morgan'ın da kullandığı parametrik modelde, portföy karlılığının normal dağıldığı varsayılmaktadır. Portföy karlılığı uygulanabilir risk faktörlerine lineer olarak bağımlıdır.

Parametrik RMD metodunda Monte Carlo Simülasyonu gibi normal dağılım varsayımı kullanılır. Ancak simülasyonlar ile fiyatlama yapılmaz. Parametrik RMD yaklaşımı duyarlılık üzerine kuruludur, ilgili risk faktöründe beklenen değişime göre pozisyonun beklenen kaybı doğrusal bir trend takip etmektedir. Diğer yöntemlerde ise, fiyatlama yapılmaktadır. Risk faktöründeki beklenen değişim, geçmiş dönemde gözlenen volatilitesi (piyasa fiyat hareketleri) ve diğer risk faktörleri ile olan korelasyonları ele alınarak hesaplanır ve bu değişimin portföy üzerinde oluşturduğu kayıp RMD'dir.

Portföyde döviz, bono gibi başka yatırım araçları da bulunuyorsa portföy volatilitesi, matris denklemleri vasıtasıyla bulunabilmektedir. Bu durumda her bir risk faktörü için bulunan volatilite ve korelasyon rakamları kullanılarak portföyün standart sapması bulunur ve aşağıdaki formülde yerine konularak RMD hesaplanabilir.

RMD hesabı şu formüle göre yapılır:

RMD = Volatilite x Portföy Değeri x Güven Aralığı

Formülde volatilite, elde tutma süresinin karekökü ile ölçeklendirilmek suretiyle bulunur. Yani, RMD 10 günlük bir zaman dilimi için hesaplanıyorsa, günlük volatilite 10'un karekökü ile çarpılarak 10 günlük volatiliteye ulaşılabilir.

Hesaplanan RMD rakamları, elde tutma süresi, yatırım araçlarının volatilitesi ve güven aralığına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir.

Bu varsayımlarla portföy RMD değeri doğrudan ilgili risk faktörlerinin volatilite ve korelasyonlarından hesaplanabilmektedir. Her iki varsayımı da sağlayan portföyler için doğru RMD değerleri tahminlenebilmektedir. Bu portföyler, hisse senetleri, spot ya da forward döviz ya da ürün pozisyonları ve kısa vadeli borçlanma araçları içeren portföylerdir. İçeriğinde opsiyonlar, faize dayalı başka türev ürünler (örneğin, structured notes) ve mortgage'a dayalı menkul kıymetlerin bulunduğu portföylerde ise parametrik RMD hatalı sonuçlar verecektir.

Geniş çaplı portföylere ve zaman içinde değişen riske de uygulanabilirliği ve kolay açıklanabilir olması nedenleriyle bankaların da en fazla kullandıkları yöntem durumundadır.

2.1.3.2 Tarihi RMD

RMD analizi modellerinde en önemli unsurlardan biri volatilitenin tespitidir. Parametrik RMD modelinde, portföyün bugünkü değerinin volatilite fonksiyonu tanımlanarak normal dağılım özellikleri veri alınmışken, tarihi RMD modelinde geçmişte yaşanan volatiliteler kullanılarak simülasyonlar yaratılmaya çalışılmıştır.

Tarihi RMD modelinde geçmişte yaşanan risk faktörlerini ya da volatiliteleri yansıtacak risk faktörlerinin seçimine önem verilmektedir. Bu modelin işleyişi şu adımlarla meydana gelmektedir:

- Model, geçmişte yaşanan belirli sayıda tarihi verileri, yaşandığı tarihte her bir risk faktöründe meydana gelen değişimlerin bugünkü risk faktörlerine uygulanarak yeni risk faktörü setinin meydana getirilmesi ile hayata geçmektedir.
- Her bir risk faktörü seti ile bugünkü portföy değerlendirilmekte ve tarihsel veri sayısının bir eksiği kadar beklenen net bugünkü değer hesaplanmaktadır, (toplam yaşanmış değişim)
- Bir sonraki adımda, ulaşılan muhtemel net bugünkü değerlerin portföyün bugünkü değerinden çıkarılması ile meydana gelebilecek değişimler bulunmaktadır.
- Bulunan değişimler küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır.
- Belirlenen güven aralığı için ilgili yüzdelikteki değişim, portföyün kaybedebileceği en yüksek değer olarak gösterilmektedir.
- Tarihi RMD modellerinin başarılı sonuçlar verebilmesinin en önemli unsuru örneklem hacminin genişliğidir. Uygulamada genellikle en az, bir yıl kadar (252 gün) tarihsel değişim kullanılmaktadır.

Ancak optimum zaman aralığı, analizin uygulanacağı piyasanın yapısal özelliklerine göre değişkendir ve bazı durumlarda 252 gün yetersiz kalır. Aynı şekilde bazı piyasalar için de uzun veri seti kullanılması gerçekten uzaklaştırır, örneğin gelişen piyasalarda yapı çok kısa süreler içerisinde değişebilmektedir.

Tarihi RMD' de, parametrik RMD modelinde kullanılan ve sonuçlarının gerçeğe yakınlığı şüphe doğuran risk - getiri lineerliği ve normal dağılım varsayımları kullanılmamaktadır. Tarihi RMD modelinde, bu iki varsayım yerine geçmişte yaşanan risk faktörü değişimlerinin yeniden gerçekleşmesi durumunda portföyün beklenen değerinde, belirlenen zaman aralığı ve güven düzeyi içinde en fazla ne kadarlık bir değer kaybı meydana gelebileceği hesaplanmaktadır.

2.1.3.3 Monte Carlo Benzetimi

Tüm RMD modelleri, portföyün bugünkü değerini etkileyen risk faktörlerinde belli bir dönem içinde meydana gelebilecek değişimlerin tahmin edilmesi üzerine kurulmuş, yukarıda da belirtildiği gibi, parametrik RMD modeli değişimlerin normal dağılım özelliği sergilediği varsayımından yola çıkarken, tarihi RMD modeli geçmişte yaşanan risk faktörü değişimlerinin tekrarlanacağı varsayımından hareket etmiştir. Monte Carlo RMD modelinde de yine risk faktörlerindeki değişimin ne olacağının belirlenmesi esastır.

Günümüz finansal sisteminin hızla değişen yapısında risk faktörlerinin değişim karakterini ifade edebilecek formüller bulmak ve değişimleri gerçeğe en yakın şekilde kestirebilmek oldukça zorlaşmıştır. Monte Carlo RMD bu noktadan hareketle, öncelikle risk faktörlerinde meydana gelebilecek değişimleri belirlemek ve belirlediği değişimleri bugünkü risk faktörlerine uygulamak amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. Bu modelde, elde edilen yeni risk faktörlerinin yardımıyla portföyün net bugünkü değerinin hesaplanmasına çalışılmaktadır.

Yeni risk faktörlerinin belirlenebilmesi için kullanılacak risk faktörlerindeki değişimler tesadüfi sayılar kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak kabul edilebilir yapay risk faktörü değişimleri yaratabilmek için normal dağılımın yanı sıra β ve t dağılımları da kullanılır.

Amaç üretilen yapay risk faktörü değişimlerinin portföy içindeki korelasyonlarının anlamlı olmasını sağlamaktır. Bu da üretilen tesadüfi risk faktörü değişimlerinin mevcut korelasyonlar muhafaza edilerek yeniden türetilmesi anlamına gelmektedir. Sonuçta üretilmiş olan yapay risk faktörleri; birbirleriyle korelasyonu gerçek hayattan alınan, normal dağılan risk faktörleri haline gelmektedir.

Başka bir ifade ile, bu modelde, parametrik RMD' deki varlıkların getirilerinin risk faktörleriyle lineer bir ilişkide olmaları varsayımı kullanılamaz iken, portföy getirilerinin normal dağılması varsayımı korunmakta, yine parametrik RMD modelinde de görülen kovaryans matrisi de kullanılmakta ve bu modelde, kovaryanslarının sabit kalması koşuluyla kullanılacak senaryo sayısı kadar yeni risk faktörü üretilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PORTFÖY OPTİMİZASYONU ÜZERİNE İMKB' DE BİR UYGULAMA

1. UYGULAMANIN AMACI

Bu bölümün amacı farklı senaryolar altında portföyler oluşturmaktır. Türetilen bu senaryolar arasından getirisi en yüksek olan optimum portföy seçilecektir. Bu nedenle, optimum portföyü seçebilmek için hangi menkul kıymetten hangi ağırlıkta bulundurulması gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Ağırlıkların belirlenmesiyle oluşturulan her bir senaryoya ait getiriler hesaplanarak karar vericiye seçenekler sunulması amaçlanmaktadır.

2. UYGULAMANIN KAPSAMI

Uygulama kapsamında ele alınan portföy optimizasyonu probleminde farklı senaryolar altında en yüksek getiriyi verecek portföyün oluşturulmasında portföye dahil edilecek hisse senetlerinin seçimi önem kazanmaktadır.

Portföy optimizasyonu probleminin çözümü için Ocak – Nisan 2008 dönemi uygulama kapsamına alınmıştır. İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'ndan (IMKB) en çok yükselen 10 adet hisse senedi problemin çözümü için seçilmiştir. Bu hisse senetleri ABANA, AVIVA, BERDN, DGGYO, DOKTS, EMNIS, GRNYO, IPMAT, VESBE ve VESTEL' dir. Seçilen bu hisse senetlerinin günlük getirileri veri olarak kullanılmıştır.

Uygulamanın yapıldığı dönemde ekonomik ve politik istikrarsızlık sonucu sermaye piyasalarında yaşanan düşüşe bağlı olarak seçilecek hisse senetlerinin bu dönemde yükselen hisse senetleri olması gerekmektedir; çünkü yaşanan bu düşüşten dolayı portföyün minimum risk içerecek şekilde olması yatırımcının kaybını en aza indirgeyecektir.

3. UYGULAMADA İZLENEN YÖNTEM

3.1 Portföye Dahil Edilecek Hisse Senetlerinin Seçimi

Uygulama için seçilen ABANA, AVIVA, BERDN, DGGYO, DOKTS, EMNIS, GRNYO, IPMAT, VESBE ve VESTEL hisse senetleri arasından portföye dahil edilmek üzere belirli hisse senetlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu hisse senetlerinin seçimi ele alınan senetlerin beta katsayılarına bakılarak yapılmıştır.

3.2 Beta Katsayısı

Bir hisse senedinin riskini sistematik ve sistematik olmayan risk olarak ifade etmek mümkündür. Sistematik risk, hisse senedinin fiyatı ile piyasa fiyatı arasındaki korelasyon büyüklüğü ile tanımlanır.[73] Beta katsayısı bir menkul kıymetin sistematik riskinin ölçüsüdür. Bir başka deyişle, menkul kıymetin performansının, piyasanın ortalama performansı ile olan ilişkisidir.[74] Beta katsayısı herhangi bir hisse senedinin piyasadaki dalgalanmalara karşı duyarlılığını ifade etmektedir. Dolayısıyla menkul kıymetin portföyün getirisine ve riskine katkısı bu menkul kıymetin beta katsayısı ile ölçülmektedir.[75]

Beta katsayısı, menkul kıymetin piyasadaki bir birimlik değişime karşılık yaptığı değişimin katsayısıdır. Piyasanın beta katsayısı her zaman için 1 olarak kabul edilir. Teorik olarak da piyasayı oluşturan tüm menkul kıymetlerin beta katsayısı toplamlarının da 1'e eşit olduğu söylenebilir.

Bir menkul kıymetin beta katsayısı üç değişik şekilde yorumlanır; beta katsayısının 1'e eşit olması, 1'den yüksek olması ve 1'den düşük olması.

---

[73] Turhan Korkmaz ve Mehmet Pekkaya, "Excel Uygulamalı Finans Matematiği", (Ekin Yayınları, 2005).s.563.
[74] "Alfa ve Beta Katsayıları", http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/alfabeta/01.html.
[75] Metin Coşkun, "Soru-Cevaplı Sermaye Piyasaları, Sermaye Piyasası Kurulu Temel Düzey Lisanslama Sınavına Hazırlık", (Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, 2005), s.436.

Bir menkul kıymetin beta katsayısının 1'e eşit olması, piyasadan ne daha fazla ne de daha az risk içermediğini, piyasayla aynı riski taşıdığını göstermektedir. Örneğin, piyasa % 5 yükselir veya düşerse, menkul kıymetin de % 5 yükseleceği ya da düşeceği beklenmektedir.

Bir menkul kıymetin beta katsayısının 1'den yüksek olması, menkul kıymetin fiyatının piyasadan daha fazla yükseleceğini ya da düşeceğini göstermektedir. Örneğin, beta katsayısı 1,25 olan bir menkul kıymetin fiyatının piyasadan %25 daha fazla yükseleceği ya da düşeceği beklenmektedir. Yani, piyasa % 1,00 yükseliyorsa, menkul kıymetin fiyatının % 1,25 yükselmesi, piyasa % 1,00 düşüyorsa, menkul kıymetin fiyatının da % 1,25 düşmesi beklenmektedir.

Bir menkul kıymetin beta katsayısının 1'den düşük olması, menkul kıymetin fiyatının piyasadan daha az yükseleceğini ya da düşeceğini göstermektedir. Örneğin, beta katsayısı 0,80 olan bir menkul kıymetin fiyatının piyasadan % 20 daha az yükseleceği ya da düşeceği beklenmektedir. Yani, piyasa % 1,00 yükseliyorsa, menkul kıymetin fiyatının % 0,80 yükselmesi, piyasa % 1,00 düşüyorsa, menkul kıymetin fiyatının da % 0,80 düşmesi beklenmektedir.

Beta katsayısı ile menkul kıymetin volatilitesi arasında yakın bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir. Beta katsayısı yükseldikçe menkul kıymetin volatilitesi artar. Beta katsayısı 1'den yüksek olan menkul kıymetler, beta katsayısı 1'den küçük olan menkul kıymetlere oranla daha çok risk içerirler ve dolayısıyla beta katsayısı 1'den yüksek olan menkul kıymetlerden oluşan portföyün de riski artar. Dolayısıyla yükselen piyasalarda beta katsayısı 1'den yüksek olan menkul kıymetler piyasadan daha yüksek getiri sağlarken, düşen piyasalarda da piyasadan daha yüksek bir zarar getirmektedir. Bu sebeple düşen piyasalarda beta katsayısı 1'den düşük olan menkul kıymetler tercih edilmektedir. İdeal bir piyasa fonu veya portföyü oluşturan menkul kıymetlerin toplam betaları da 1'e eşit olması gerekmektedir.

Beta katsayısının hesaplanması için, belirli bir zaman periyodundaki hisse senedi ve endeks getirisi arasındaki kovaryansın, endeks getirisinin standart sapmasının karesine (varyans) oranından faydalanılmaktadır.

$$\beta_i = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left[(R_{it} - \overline{R}_{it})(R_{mt} - \overline{R}_{mt}) \right]}{\sum_{t=1}^{n} (R_{mt} - \overline{R}_{mt})^2} \tag{3.1}$$

Burada;

β_i = Beta Katsayısı

R_i = Menkul Kıymetin Getiri Oranı

R_m = Pazarın Getiri Oranı

$\overline{R}_i$ = Menkul Kıymet Getiri Oranının Sapması

$\overline{R}_m$ = Pazar Getiri Oranının Sapması

olarak ifade edilmektedir.

Bu verilerin Excel tablosunda hesaplanması için gerekli formülasyonlar ise aşağıda verilmektedir. Tablo 3.1' de BERDN için beta katsayısının hesaplanışı görülmektedir.

I88 | fx =H87/I87

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TARİH	BERDN	XU100	%Rİ	RM	Rİ SAPMA	RM SAPMA	Rİ*RM	VAR RM
2	02.01.2008	2	54708,42						
3	03.01.2008	2,16	53541,27	6,80	-1,81	7,12	-1,61	-11,45	2,59
4	04.01.2008	2,24	52529,88	3,15	-1,61	3,46	-1,40	-4,85	1,96
5	07.01.2008	2,15	52569,54	-3,42	0,06	-3,10	0,27	-0,83	0,07
6	08.01.2008	2,04	53235,93	-4,35	1,08	-4,03	1,28	-5,17	1,64
7	09.01.2008	2	52730,72	-1,67	-0,81	-1,35	-0,60	0,81	0,36
8	10.01.2008	1,99	52351,01	-0,43	-0,61	-0,11	-0,41	0,04	0,17
9	11.01.2008	1,97	51920,59	-0,85	-0,70	-0,54	-0,49	0,27	0,24
75	14.04.2008	1,38	41747,3	-0,61	-0,47	-0,30	-0,27	0,08	0,07
76	15.04.2008	1,4	41584,13	1,23	-0,33	1,55	-0,13	-0,20	0,02
77	16.04.2008	1,42	41555,97	1,21	-0,06	1,53	0,15	0,23	0,02
78	17.04.2008	1,42	41601,82	0,00	0,09	0,32	0,30	0,09	0,09
79	18.04.2008	1,43	42641,06	0,60	2,12	0,91	2,33	2,13	5,42
80	21.04.2008	1,45	43065,24	1,19	0,85	1,51	1,05	1,58	1,10
81	22.04.2008	1,42	42827,71	-1,76	-0,47	-1,44	-0,26	0,38	0,07
82	24.04.2008	1,44	43190,25	1,20	0,72	1,51	0,92	1,40	0,85
83	25.04.2008	1,44	43593,8	0,00	0,79	0,32	1,00	0,32	1,00
84	28.04.2008	1,43	43613,96	-0,59	0,04	-0,27	0,24	-0,07	0,06
85	29.04.2008	1,4	43054,48	-1,78	-1,09	-1,47	-0,89	1,30	0,78
86	30.04.2008	1,39	43468,12	-0,61	0,82	-0,29	1,02	-0,30	1,04
87	ORTALAMA			-0,32	-0,20			3,30	4,23
88	BETA								0,78

Tablo 3.1 BERDN hisse senedi için beta katsayısının hesaplanması

Bu çalışmadaki hesaplamalarda referans verisi olarak Ulusal-100 endeksinin ve hisse senetlerinin günlük kapanışları üzerinden getiri verileri kullanılmıştır.

İlk olarak bir hesaplama dönemi ve gözlem sayısı belirlenmelidir. Üzerinde çalışılmak istenen tarih aralığı belirlendikten sonra Excel tablosunun A kolonuna işlem günleri listesi, B kolonuna hisse senedi günlük kapanış değerleri ve C kolonuna da Ulusal-100 endeksinin aynı günlerdeki kapanış değerleri işlenmektedir. Daha sonra D kolonunun 3. satırına hisse senedinin günlük % getirisi (R_i) ve E kolonunun da 3. satırına Ulusal-100 endeksinin günlük % getirisi (R_m) hesaplattırılarak formüller aşağıya doğru uzatılarak kopyalanmaktadır.

Hisse senedi günlük % getiri hesaplama formülü;

=((B3/B2)-1)*85

Ulusal-100 endeksi günlük % getiri hesaplama formülü;

=((C3/C2)-1)*85

Böylelikle hisse senedi ve endeksin 85 adet günlük % getirileri bulunmuş olmaktadır. D kolonundaki % getiriler en aşağıda toplanarak gözlem sayısı olan 85'e bölünerek, 85 günlük % getirilerin ortalaması bulunur ve aynı işlem E kolonuna da uygulanır.

F kolonuna hisse senedinin günlük % getirisi ile 85 günlük % getiri ortalamasının farkı hesaplattırılarak formül aşağıya doğru uzatılarak kopyalanır.

=D3-D87

Aynı işlem G kolonunda Ulusal-100 endeksinin günlük % getirisi ile endeksin 85 günlük % getiri ortalamasının farkı hesaplanacak şekilde tekrarlanır.

=E3-E87

F ve G kolonları H kolonunda birbirleriyle çarpılarak (=F3*G3) aşağıya doğru formül kopyalanır ve en aşağıda H kolonu toplanarak yine gözlem sayısı olan 85'e bölünür.

=SUM(H3:H87)/85

I kolonunda ise sadece Ulusal-100 endeksinin günlük % getirisi ile endeksin 85 günlük % getiri ortalamasının farkı olan değerin karesi hesaplattırılarak aşağı doğru uzatılarak kopyalanır.

=(E3-E87)^2

I kolonunun en altında bu değerler toplanarak elde edilen değer yine gözlem sayısı olan 85’e bölünür.

=SUM(I3:I87)/85

Böylelikle β_i değerlerinin hesaplanması için gerekli veriler elde edilmiştir.

Elde edilen veriler esas formülde yerine konulduğunda, yani;

=H87/I87)

H kolonunun sonunda elde edilen değer, I kolonunun sonunda elde edilen değere oranlandığında β_i değerine ulaşılmaktadır.

Örnekte verilen BERDN hisse senedine ait beta katsayısı değeri 0,78 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer 1’ den küçük bir değer olduğu için bu hisse senedi portföye dahil edilebilmektedir.

Borsa verilerine göre aralarından beta katsayısı değerlerine göre seçim yapılmak üzere ele alınan diğer hisse senetlerinin beta katsayısı değerleri ise Tablo 3.2’ de verilmektedir.[76]

Hisse Senetleri	**Beta Katsayısı**
ABANA	0,63
AVIVA	0,65
BERDN	**0,78**
DGGYO	1,12
DOKTS	**0,94**
EMNIS	**0,71**
GRNYO	**0,91**
IPMAT	1,05
VESBE	**0,77**
VESTEL	1,01

Tablo 3.2 Hisse Senetlerinin Beta Katsayısı Değerleri

[76] IBS Yazılım, http://analiz.ibsyazilim.com/egitim/alfabeta/04.html

Elde edilen bu değerlere göre; beta katsayısı 1'den düşük olan hisse senetleri, beta katsayısı 1'den yüksek olan hisse senetlerine göre daha az risk içerdikleri için portföye dahil edilmek üzere seçilmektedirler. Dolayısıyla bu çalışmada, oluşturulacak portföylerin piyasa riskinde meydana gelecek dalgalanmalardan daha az etkilenmesi amacıyla beta katsayıları 1'den düşük ve 1'e en yakın olan 5 adet hisse senedi seçilmiştir. Buna göre bu hisse senetleri BERDN, DOKTS, EMNIS, GRNYO VE VESBE olmaktadır.

4. BULGULAR VE YORUM

4.1 Senaryo Planlama

Maksimum getiriyi amaçlayan stokastik programlama probleminin çözümünde optimum sonucu elde edebilmek için mümkün tüm sonuçları görebilmek gerekmektedir. Bunun için verilere dayanılarak birden fazla senaryo türetimine gereksinim vardır. Bu çalışmada yatırımcıların karakteristik özelliklerine uygun olarak 6 adet senaryo türetilmiş ve türetilen bu senaryolar arasından getirisi en fazla olan senaryo optimum portföy olarak seçilmiştir.

4.2 Uygulamada Kullanılan Model

Bu çalışmada Konno ve Yamazaki modelini temel alan, Fang ve diğerleri tarafından önerilen model doğrultusunda optimum portföy elde edilmeye çalışılacaktır. Bu model genel hatlarıyla (P1)' de verilmiştir:

(P1)

$$Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i \tag{3.2}$$

$$Min \sum_{t=1}^{T} \frac{\left| \sum_{i=1}^{n} (r_{it} - r_i) x_i \right| + \sum_{i=1}^{n} (r_i - r_{it}) x_i}{2T} \tag{3.3}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{a_j+b_j}{2}+\frac{\beta_j-\alpha_j}{6}\right)x_j \geq \ell \tag{3.4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \tag{3.5}$$

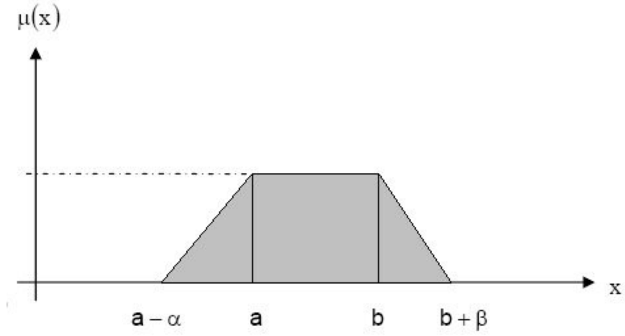
$$x_i \leq u_i,\ i = 1,2,...,n \tag{3.6}$$

(P1)'de (3.2) ile portföyü oluşturan hisselerin maksimum getiriyi sağlayacak şekilde ağırlıklandırılması sağlanmaktadır. Bu amaçla her hisseye ait portföy ağırlıkları, o hissenin incelenen dönemde gerçekleşen ortalama getirisi (r_i) ile çarpılır. r_i ise,

$$r_i = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} r_{it},\ i = 1,2,...,n \tag{3.7}$$

ile hesaplanır. r_{it} ile i. hisse senedinin j. ayda gerçekleşen getirisi ifade edilmektedir.

(3.3)' te ise portföyün toplam riskini minimum yapacak hisselerden oluşması amaçlanmıştır. Model ayrıca hisse senetlerinin likitidesine ilişkin bir kısıtta içermektedir. Bilindiği gibi likidite değerlenebilir bir kavramdır. Likiditesi yüksek firmanın, daha fazla borç ödeyebilme ve yeni varlık satın alma kabiliyetine sahip olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca likidite, yatırımları anlamlı bir kayıp olmadan nakde dönüştürebilme olasılığı şeklinde tanımlanabilir. Bu sebepten yatırımcılar yüksek likiditeli hisseleri tercih ederler. (3.4)' te portföyün likiditesine ilişkin kısıt verilmiştir. Likiditeyi ölçmek için ise işlem hacimleri kullanılacaktır ve işlem hacmi oranları trapezoidal bulanık sayılarla temsil edileceklerdir. Şekil 3.5' te trapezoidal üyelik fonksiyonuna ait grafik gösterim verilmiştir.



Şekil 3.5 Trapezoidal üyelik fonksiyonu

Şekil 3.5' te verilen trapezoidal bulanık fonksiyonun üyelik fonksiyonu ise,

$$A(x)=\begin{cases}1-\dfrac{a-x}{\alpha} & a-\alpha\le x\le a\\ 1 & a\le x\le b\\ 1-\dfrac{x-b}{\beta} & b\le x\le b+\beta\\ 0 & diğer\ yerlerde\end{cases} \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir. $A=(a,b,\alpha,\beta)$ olmak üzere, γ- seviye kümesi kısaca

$$[A]^{\gamma}=[a-(1-\gamma)\alpha, b+(1+\gamma)\beta]\ \forall\gamma\in[0,1] \quad (3.9)$$

şeklinde gösterebilir. (3.9)' da verilen fonksiyonun beklenen değerini ise,

$$E(A)=\int_0^1\gamma[a-(1-\gamma)\alpha, b+(1+\gamma)\beta]d\gamma \quad (3.10)$$

$$=\int_0^1\gamma[a+b+(1-\gamma)(\beta-\alpha)]d\gamma \quad (3.11)$$

$$=\int_0^1 \gamma(a+b)+\gamma[(1-\gamma)(\beta-\alpha)]d\gamma \tag{3.12}$$

$$=\int_0^1 \gamma(a+b)d\gamma+\int_0^1 \gamma[(1-\gamma)(\beta-\alpha)]d\gamma \tag{3.13}$$

$$=\frac{a+b}{2}+\frac{\beta-\alpha}{6} \tag{3.14}$$

şeklinde hesaplanır. Burada,

$$[A+B]^\gamma=[a_1(\gamma)+b_1(\gamma),a_2(\gamma)+b_2(\gamma)]$$

$$[kA]^\gamma=k[A]^\gamma \tag{3.15}$$

özelliklerinden yararlanılmıştır.

Yukarıda kapalı haliyle verilen (P1) modelini daha açık şekilde, ayrıca bulanıklığın da modele eklenmesiyle sırasıyla (P2), (P3), (P4) ve son olarak (P5) modellerine dönüşecektir. Bu modeller arasındaki geçişler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

(P1) modelinde,

$$y_t=\frac{\left|\sum_{i=1}^{n}(r_{it}-r_i)x_i\right|+\sum_{i=1}^{n}(r_i-r_{it})x_i}{2} \quad \text{dersek,}$$

$$2y_t-\sum_{i=1}^{n}(r_i-r_{it})x_i=\left|\sum_{i=1}^{n}(r_{it}-r_i)x_i\right|$$

mutlak değerin özelliğinden,

$$-2y_t+\sum_{i=1}^{n}(r_i-r_{it})x_i\le\left|\sum_{i=1}^{n}(r_{it}-r_i)x_i\right|\le 2y_t-\sum_{i=1}^{n}(r_i-r_{it})x_i$$

$$-2y_t+\sum_{i=1}^{n}(r_i-r_{it})x_i-\sum_{i=1}^{n}(r_{it}-r_i)x_i\le 0 \tag{3.16}$$

$$2y_t - \sum_{i=1}^{n}(r_i - r_{it})x_i - \sum_{i=1}^{n}(r_{it} - r_i)x_i \geq 0 \tag{3.17}$$

elde edilir.

(3.16)' nın düzenlenmesiyle

$$y_t + \sum_{i=1}^{n}(r_{it} - r_i)x_i \geq 0$$

elde edilmiştir. Ayrıca (3.17)' den ise,

$$y_t \geq 0$$

elde edilmiştir. Yani mutlak değer işlemcisi açılarak model tekrar düzenlenmiştir. Bulunan bu sonuçlar yerine konulduğunda (P2) elde edilmiş olur.

(P2)

$$Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i$$

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

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{a_j + b_j}{2} + \frac{\beta_j - \alpha_j}{6}\right)x_j \geq \ell$$

$$y_t + \sum_{i=1}^{n}(r_{it} - r_i)x_i \geq 0, \;\; t = 1, 2, \ldots, T$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$$

$$x_i \leq u_i, \;\; i = 1, 2, \ldots, n$$

$$y_t \geq 0, \;\; t = 1, 2, \ldots, T$$

Yatırımlar genellikle, sosyal ve ekonomik ortamdaki olaylardan etkilenmektedir. Böylesi durumlarda da optimizasyon her zaman en iyi çözüm olmamaktadır. Bazı durumlarda memnuniyet derecesine yönelik yaklaşımlar daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Gerçek hayatta özellikle de finansal yönetimde, yatırımcının bilgisi ve deneyimi karar verme aşamasında önem kazanmaktadır. Bulanık üyelik fonksiyonları sayesinde yatırımcı problemlere daha kolay müdahale edebilmektedir. Portföy yöneticileri yatırımcıların tiplerine göre (riski seven, riskten kaçınan) portföy modeline kolaylıkla şekil verebilmektedir. Bu amaçla portföyün getirisine, riskine ve likiditesine ilişkin üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

Portföyün beklenen getiri oranına ilişkin üyelik fonksiyonu:

$$\mu_r(x) = \frac{1}{1+\exp(-\alpha_r(E(r(x)) - r_m))} \tag{3.18}$$

Portföyün riskine ilişkin üyelik fonksiyonu:

$$\mu_w(x) = \frac{1}{1+\exp(\alpha_w(w(x) - w_m))} \tag{3.19}$$

Portföyün likiditesine ilişkin üyelik fonksiyonu:

$$\mu_\ell(x) = \frac{1}{1+\exp(-\alpha_\ell(E(\ell(x)) - \ell_m))} \tag{3.20}$$

(P2) modeli Bellman ve Zadeh'in maksimizasyon prensibine göre tekrar yazılırsa (P3) modeli elde edilir.

$$\eta = \min\{\mu_r(x), \mu_w(x), \mu_\ell(x)\} \tag{3.21}$$

(P3)

$$Max\,\eta$$

$$\eta_r(x) \geq \eta$$

$$\eta_w(x) \geq \eta$$

$$\eta_\ell(x) \geq \eta$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$$

$$x_i \leq u_i,\ \ i = 1, 2, ..., n$$

$$0 \leq \eta \leq 1$$

(3.18), (3.19) ve (3.20)’ de verilen üyelik fonksiyonları (P3)’ te açık yazılırsa (P4) elde edilir. Bu sayede artık modele belirsizlik ilave edilmiş olmaktadır.

(P4)

$$Max\,\eta$$

$$\eta + \exp(-\alpha_r(E(r(x)) - r_m))\eta \leq 1,$$

$$\eta + \exp(\alpha_w(w(x) - w_m))\eta \leq 1,$$

$$\eta + \exp(-\alpha_\ell(E(\ell(x)) - \ell_m))\eta \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$$

$$x_i \leq u_i,\ \ i = 1, 2, ..., n$$

$$0 \leq \eta \leq 1$$

(P4) modelinde üstel ifadeler bulunmaktadır. Üstel ifadelerden kurtulmak için $\theta = \log \frac{\eta}{\eta - 1}, \eta = \frac{1}{1 + \exp(-\theta)}$ dönüşümü yapılırsa (P5) elde edilmiş olur. Artık (P5) ile model son halini almaktadır.

(P5)

$$Max\ \theta$$

$$\alpha_r (\sum_{i=1}^{n} r_i x_i) - \theta \geq \alpha_r r_m$$

$$\theta + \frac{\alpha_w}{T} \sum_{t=1}^{T} y_t \leq \alpha_w w_m$$

$$\alpha_\ell \sum_{j=1}^{n} (\frac{a_j + b_j}{2} + \frac{\beta_j - \alpha_j}{6}) x_j - \theta \geq \alpha_\ell \ell_m$$

$$y_t + \sum_{i=1}^{n} (r_{it} - r_i) x_i \geq 0, \ \ t = 1, 2, ..., T$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$$

$$y_t \geq 0$$

$$x_i \leq u_i, \ \ i = 1, 2, ..., n$$

(P5) modeli artık doğrusal programlama çözüm yöntemleri ile çözülebilir. P5 modeli bu haliyle uygulamada kullanılacaktır. (P5) modelinde bulunan tüm kısıtlar oluşturulduktan sonra çözüm aşamasına geçilecektir.[77]

[77] Türe, s.79.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } \theta \tag{3.22}$$

Kısıtlar

$$\alpha_r (\sum_{i=1}^{n} r_i x_i) - \theta \geq \alpha_r r_m \tag{3.23}$$

$$\theta + \frac{\alpha_w}{T} \sum_{t=1}^{T} y_t \leq \alpha_w W_m \tag{3.24}$$

$$\alpha_l \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{a_j + b_j}{2} + \frac{\beta_j - \alpha_j}{6} \right) x_j - \theta \geq \alpha_\ell \ell_m \tag{3.25}$$

$$y_t + \sum_{i=1}^{n} (r_{it} - r_i) x_i \geq 0, \quad t = 1, 2, ..., T, \tag{3.26}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \tag{3.27}$$

$$y_t \geq 0 \tag{3.28}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Model, çeşitli üyelik fonksiyonu katsayı değerlerine göre riski göze alan – iyimser ve riskten kaçınan – kötümser yatırımcı tiplerine göre farklı senaryoların elde edilmesine yönelik olarak getiri, risk ve likiditenin üç ayrı durumu için çözümlenecektir.

(3.22)' de tanımlanan kısıt, modelin getirisine ilişkin kısıtı oluşturmaktadır. Kısıt (3.22)'de portföyün getirisine ilişkin verilen kısıt (3.23)'te rakamsal olarak verilmektedir. Model α_r ve r_m ' nin üç farklı durumu için çözülecektir. Bu kısıtta α_r =600 ve r_m =0,0415 değerleri örnek olarak verilmektedir. α_r =600 seçilerek üyelik fonksiyonun hassasiyeti ayarlanmaya çalışılmıştır. Sonuç tablolarında α_r ' nin farklı değerlerine ilişkin sonuçlar verilmiştir. Bu sayede α_r sayısının portföy üzerindeki etkisi gözlenebilecektir. Aynı şekilde r_m=0,0415 ile incelenen dönemde ilgili hisse senetlerinin ortalama getirisi olan 0,0415 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.[78]

$$4{,}58X_1+22{,}9X_2+21{,}2X_3+21{,}1X_4+2{,}89X_5 \geq 600(0,0415) \quad (3.23)$$

(3.24)' te portföyün riskine ilişkin kısıt verilmektedir. Getiriye ilişkin kısıtta olduğu gibi riske ilişkin bu kısıt da α_w ve w_m' nin üç farklı değeri için çözülecektir. İlgili kısıtta örnek olarak α_w=800 ve w_m=0,04 değerleri verilmiştir. Getiri kısıtında olduğu gibi α_w=800 seçilerek üyelik fonksiyonun hassasiyeti ayarlanmaya çalışılmış, ayrıca aynı şekilde w_m=0,04 ile incelenen dönemde ilgili hisse senetlerinin ortalama getirisi olan 0,04 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

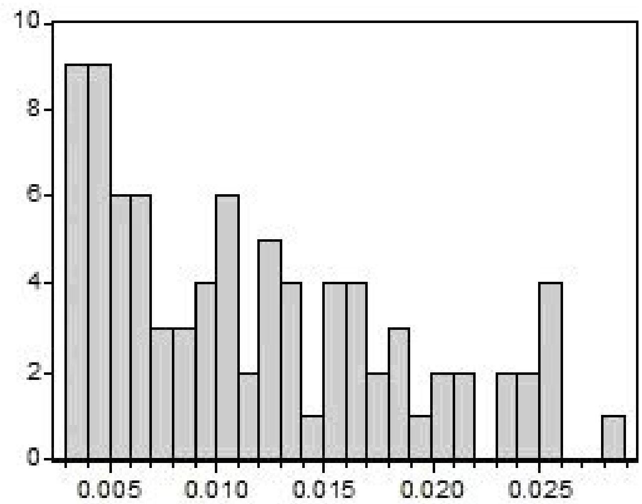
$$\theta+0{,}054X_1+3{,}85X_2+3{,}75X_3+0{,}098X_4+0{,}008X_5 \leq 800(0,04) \quad (3.24)$$

Kısıt (3.25) portföyün likiditesine ilişkindir. Bu kısıtta örnek olarak α_ℓ =600 ve ℓ_m=0,032 olarak ele alınmıştır. Yine α_ℓ =600 seçilerek üyelik fonksiyonun hassasiyeti ayarlanmaya çalışılmış, ayrıca aynı şekilde ℓ_m=0,032 ile incelenen dönemde ilgili hisse senetlerinin ortalama getirisi olan 0,032 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

$$7{,}45X_1+7X_2+2{,}6X_3+3{,}4X_4+7X_5 \geq 600(0,032) \quad (3.25)$$

Bu kısıta ilişkin katsayıları oluşturabilmek için her bir hisse senedine ilişkin a, b, α ve β değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerleri elde edebilmek için ilgili her bir hisse senedinin işlem hacminin toplam işlem hacmi içindeki payı hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu oranlarla bir frekans serisi oluşturulmaktadır. Grafik 3.1' de VESBE hisse senedi için hesaplanan frekans tablosu görülmektedir.

[78] Türe, sf.83



Grafik 3.1 VESBE’ nin işlem hacmi miktarlarının sıklığı

Grafiğe bakıldığında işlem hacmi oranlarının en çok [0,003;0,004], [0,004;0,005], [0,005;0,006], [0,006;0,007] ve [0,010;0,011] aralıklarına düştüğü görülmektedir. [0,003;0,004] ve [0,010;0,011] aralıklarının orta noktaları tolerans aralığının sol ve sağ uçları olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle işlem hacminin tolerans aralığı [0,0035;0,0105] tir. Tüm oranlar incelendiğinde alt ve üst değerlerin 0,003 ve 0,011 olduğu görülmektedir. Böylelikle VESBE hisse senedine ilişkin değerler $[a, b, \alpha, \beta] = [0,0035; 0,0105; 0,003; 0,011]$ olarak elde edilmektedir. Bu katsayıların tüm hisse senetleri için çıkarımı Tablo 3.3’ te görülmektedir.

Elde edilen $[a, b, \alpha, \beta]$ parametreleri yardımıyla her bir hisse senedine ilişkin ortalama getiriler,

$$\text{Ortalama Getiri} = \frac{a+b}{2} + \frac{\beta - \alpha}{6}$$

formülü ile hesaplanarak likidite kısıtına ilişkin katsayılar elde edilmiştir.

		a	**b**	$\mathbf{b+\beta}$	$\mathbf{a-\alpha}$	$\boldsymbol{\beta}$	$\boldsymbol{\alpha}$
BERDN	X1	0,0035	0,0155	0,0315	0,0005	0,016	0,003
DOKTS	X2	0,004	0,0065	0,0135	0,0005	0,007	0,0035
EMNIS	X3	0,0035	0,015	0,032	-0,0005	0,017	0,004
GRNYO	X4	0,0085	0,014	0,029	0,0005	0,015	0,008
VESBE	X5	0,0035	0,0105	0,0215	0,0005	0,011	0,003

Tablo 3.3 Hisse senetlerinin işlem hacimlerine ilişkin a, b, α ve β parametreleri

(3.26) kısıtı (P1) modelinde bulunan (3.3) no.lu kısıtın mutlak değer işlemcisinin açılması ile oluşturulmuştur. Bu kısıttan T=85 tane olacaktır. Örnek olarak üç kısıt verilmektedir.

$$0,17X_1 + 0,12X_2 + 0,87X_3 + 0,8X_4 + 0,18X_5 \geq 0$$

$$0,15X_1 + 0,83X_3 + 0,7X_4 + 0,25X_5 \geq 0$$

$$0,13X_1 - 0,1X_2 + 0,79X_3 + 0,72X_4 + 0,02X_5 \geq 0$$

(3.27)‘ de verilen eşitlik portföy içinde yapılacak yatırımlar toplamının 1’e eşit olması gerektiğini göstermektedir.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1$$

Mutlak değer işlemcisinin açılmasıyla oluşturulan (3.27) kısıtından T=85 tane oluşturulacaktır. Örnek olarak üç tane kısıt verilmektedir.

$$0,02X_1 + 0,67X_2 + 0,15X_5 \geq 0$$

$$0,07X_1 + 0,93X_2 \geq 0$$

$$0,05X_1 + 0,83X_2 + 0,04X_3 + 0,19X_5 \geq 0$$

4.3 Modelin Çözümü

Modele ilişkin tüm kısıtların belirlenmesinin ardından elde edilen kısıtlar WINQSB paket programı yardımı ile çözümlenerek, farklı yatırımcı tiplerini göz önüne alan altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu bölümde, elde edilen senaryolara ilişkin sonuçlar verilmektedir.

4.3.1 Birinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 1)

Birinci senaryo riski seven – iyimser bir yatırımcı portresi tipi düşünülerek oluşturulmuştur. Bu tip bir yatırımcı için getiri, risk ve işlem hacmi kısıtlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının α_r, α_w ve α_ℓ katsayıları sırasıyla 600, 800 ve 600 olarak seçilmiş ve getiri için 0,0415 değerine, risk için 0,04 değerine ve işlem hacmi için 0,032 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

$\alpha_r = 600$ $\alpha_w = 800$ $\alpha_\ell = 600$ $r_m = 0,0415$ $w_m = 0,04$ $\ell_m = 0,032$		
$\theta = 0,56$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_1	BERDN	0,2507
X_2	DOKTS	0,0331
X_5	VESBE	0,7162

Tablo 3.4 Senaryo 1'e ilişkin sonuçlar

Oluşturulan bu senaryo ile model $\theta = 0,56$ ile maksimum getiri değerine ulaşmıştır. Buna göre, risk almayı seven iyimser bir yatırımcının portföyündeki hisse senetlerinin dağılımları % 25 ile BERDN, % 3 ile DOKTS ve % 71 ile VESBE olarak bulunmuştur.

Yatırımcı kendisine en uygun alternatifi seçebilmek için α değerlerini farklılaştırabilmektedir.

4.3.2 İkinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 2)

İkinci alternatif senaryo önerisi risk almayı sevmeyen, kötümser yatırımcı tipleri düşünülerek oluşturulmuştur. Buna göre; iyimser yatırımcı tipinde sırasıyla 0.0415, 0.04 ve 0.032 olarak belirlenen r_m, w_m ve ℓ_m değerleri yatırımcının risk almak istememesine bağlı olarak değiştirilmiştir. Bu senaryo için portföyün riskini ifade eden w_m değeri 0.04'ten 0,034'e düşürülmüştür. Yatırımcının göze aldığı risk miktarı azaldığı için buna bağlı olarak portföyün getirisi de azalacağından r_m değeri de 0,0415'ten 0,038'e düşürülmüş, benzer şekilde ℓ_m miktarı da 0,011'e düşürülmüştür. Birinci senaryoda 600, 800, 600 olarak belirlenen α katsayıları aynen bırakılmıştır.

Belirlenen bu değerlere göre elde edilen senaryo Tablo 3.5'te görülmektedir.

$\alpha_r = 600 \quad \alpha_w = 800 \quad \alpha_\ell = 600$ $r_m = 0,038 \quad w_m = 0,034 \quad \ell_m = 0,011$		
$\theta = 2,17$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_1	BERDN	0,0702
X_2	DOKTS	0,2699
X_3	EMNIS	0,3789
X_5	VESBE	0,2810

Tablo 3.5 Senaryo 2' ye ilişkin sonuçlar

Hisse senetlerinin portföy içindeki ağırlıklarına bakıldığında Senaryo 1'de yer alan BERDN hisse senedinin ağırlığının % 25'ten % 7'ye ve VESBE hisse senedinin ağırlığının % 71'den %28'e düştüğü görülmektedir. Buna karşılık DOKTS hisse senedinin ağırlığının % 3'ten % 26'ya yükseldiği gözlenmektedir. Buna göre, risk almayı sevmeyen bir yatırımcının portföyünde % 7 ile BERDN, % 26 ile DOKTS, % 37 ile EMNIS ve % 28 ile VESBE hisse senetleri yer almaktadır.

4.3.3 Üçüncü Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 3)

Bu senaryo, Senaryo 1' de olduğu gibi risk almayı seven iyimser bir yatırımcı tipi düşünülerek oluşturulmuştur; ancak bu senaryo için Senaryo 1'de 600, 800, 600 olan α katsayıları 500, 1000 ve 500 olarak değiştirilmiş ve getiri için 0,0415 değerine, risk için 0,04 değerine ve işlem hacmi için 0,032 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 3.6'da görülmektedir.

$\alpha_r = 500 \quad \alpha_w = 1000 \quad \alpha_\ell = 500$ $r_m = 0,0415 \quad w_m = 0,04 \quad \ell_m = 0,032$		
$\theta = 0,76$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_1	BERDN	0,9574
X_2	DOKTS	0,0426

Tablo 3.6 Senaryo 3'e ilişkin sonuçlar

Üçüncü senaryoya göre elde edilen maksimum getiri değeri $\theta = 0,76$ 'dır. Buna göre, risk almayı seven iyimser bir yatırımcının portföyündeki hisse senetlerinin dağılımları % 96 ile BERDN ve % 4 ile DOKTS olarak bulunmuştur.

4.3.4 Dördüncü Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 4)

Bu senaryo ise, risk almayı sevmeyen kötümser bir yatırımcı tipi için oluşturulmuştur. 500, 1000 ve 500 olan α katsayıları aynen korunmuş ve getiri için 0,0038 değerine, risk için 0,034 değerine ve işlem hacmi için 0,011 değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 3.7' de görülmektedir.

$\alpha_r = 500 \quad \alpha_w = 1000 \quad \alpha_\ell = 500$ $r_m = 0,038 \quad w_m = 0,034 \quad \ell_m = 0,011$		
$\theta = 0,69$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_1	BERDN	0,9806
X_2	DOKTS	0,0014
X_3	EMNIS	0,0179

Tablo 3.7 Senaryo 4'e ilişkin sonuçlar

Senaryo 4'te elde edilen sonuçlar beklentilere uygun olarak gerçekleşmiştir. İyimser bir yatırımcı tipine göre planlanan Senaryo 3'e göre 0,76 olan beklenen getiri değeri, risk almayı sevmeyen yatırımcı tipine göre planlanan Senaryo 4'te 0,69'a düşmüştür. Daha az riski göze alan bir yatırımcının elde edeceği kazancın da daha düşük olması beklenmektedir. Senaryo 3 ile Senaryo 4 karşılaştırıldığında BERDN hisse senedinin portföy içindeki payının % 95'ten % 98'e yükseldiği, DOKTS hisse senedine ait payın ise % 4'ten % 0,1'e düştüğü görülmektedir.

4.3.5 Beşinci Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 5)

Beşinci alternatif senaryoda yine iyimser bir yatırımcı için α değerleri $\alpha_r = 400$, $\alpha_w = 1200$ ve $\alpha_\ell = 400$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca getiri için $r_m = 0,0415$ değerine, risk için $w_m = 0,04$ değerine ve işlem hacmi için de $\ell_m = 0,032$ değerine 0,5 üyelik derecesi atanmıştır.

$\alpha_r = 400 \quad \alpha_w = 1200 \quad \alpha_\ell = 400$ $r_m = 0,0415 \quad w_m = 0,04 \quad \ell_m = 0,032$		
$\theta = 3,25$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_2	DOKTS	1

Tablo 3.8 Senaryo 5'e ilişkin sonuçlar

Elde edilen sonuçlara göre, Senaryo 5 için oluşturulan portföyde sadece DOKTS hisse senedinin yer aldığı görülmektedir. Bu hisse senedinin β katsayısına bakıldığında seçilen hisse senetleri arasında en yüksek β katsayısına sahip hisse senedi olduğu görülmektedir. β katsayısının yüksek olması mevcut hisse senedinin riskli bir senet olduğunu, dolayısıyla yatırımcı bu hisse senedini portföyüne dahil ettiği taktirde piyasa arttığında kazanırken, piyasa düştüğünde ise kaybedeceğini ifade etmektedir. Yani piyasadaki dalgalanmalardan en çok bu yatırımcı tipi etkilenecektir.

4.3.6 Altıncı Alternatif Portföy Model Önerisi (Senaryo 6)

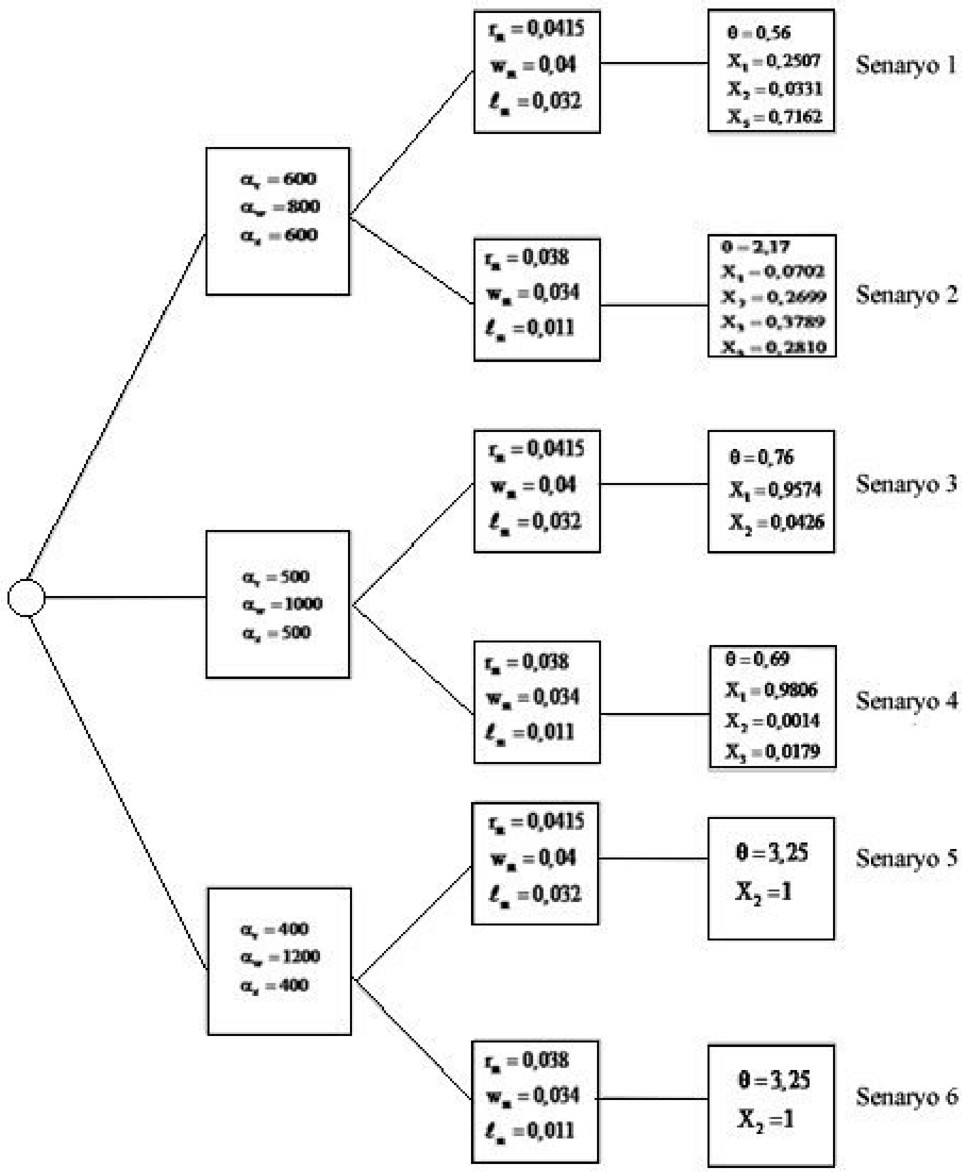
Altıncı ve son senaryoda ise; α değerleri senaryo 5'teki değerlerle aynı bırakılarak getiri, risk ve işlem hacmi değerleri senaryo 4'teki değerlerle aynı olacak şekilde getiri için 0,0038 değerine, risk için 0,034 değerine ve işlem hacmi için 0,011 değerine 0,5 üyelik derecesi atanarak oluşturulmuştur.

$\alpha_r = 400 \quad \alpha_w = 1200 \quad \alpha_\ell = 400$ $r_m = 0,038 \quad w_m = 0,034 \quad \ell_m = 0,011$		
$\theta = 3,25$		
Değişken	**Hisse İsmi**	**Portföy İçindeki Oranı**
X_2	DOKTS	1

Tablo 3.9 Senaryo 6' ya ilişkin sonuçlar

Elde edilen sonuçlara göre Senaryo 6'da Senaryo 5 ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Yatırımcının belirli bir risk oranını göze almasının ya da almamasının β katsayısı yüksek olan bu hisse senedinin portföy içindeki oranını etkilemediğini göstermektedir.

Değişik α seviyelerinde farklı yatırımcı tipleri için oluşturulan bu farklı altı senaryoyu Tablo 3.10' da verilen senaryo ağacında görmek mümkündür.



Tablo 3.10 Senaryo Ağacı

Elde edilen senaryo ağacında oluşturulan altı farklı senaryo toplu olarak gösterilmektedir. Birinci bölümde de belirtildiği gibi senaryo ağaçları ele alınan problemin optimize edilebilmesi için modele uygun olarak planlanan senaryoların şematik olarak gösterilmesinde kullanılmaktadır. Senaryo ağaçları optimize edilen problemde karar vericinin elde edilen sonuçlar arasından en çok getiriye sahip olan senaryoyu seçmesine olanak tanımaktadır. Böylece farklı özelliklere sahip olan yatırımcılar kendi tercihlerine bağlı olarak istedikleri senaryoyu esas alarak portföylerini oluşturabileceklerdir.

SONUÇ

Son yıllarda finansal piyasalarda yaşanan belirsizlik ile birlikte piyasaların ekonomik ve sosyal olaylardan etkilenmesi, portföy optimizasyonunda doğrusal programlama modeli yardımıyla elde edilen sonuçları yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle oluşturulacak portföylerde karar verici konumunda olan yatırımcının bireysel tercihleri ile birlikte piyasalarda gözlenen belirsizliği oluşturduğu portföye dahil edebilmesi için yeni yaklaşımlara ihtiyacı vardır. Bu nedenle yatırımcının kontrol edemediği belirsizliği modele dahil eden stokastik programlama yöntemi, yatırımcının farklı beklentileri doğrultusunda daha doğru sonuçlar verecektir.

Bu çalışmada, stokastik programlama yöntemi kullanılarak farklı senaryolar altında bir portföy optimizasyon probleminin çözümü yapılmıştır. Bu amaçla, İMKB-100’ de yer alan ve beta katsayıları en yüksek olan on adet hisse senedi seçilmiştir. Bu hisse senetlerinin içerisinden de, beta katsayıları 1’ e yakın olan beş tanesi seçilmiştir. Problemde kullanılan hisse senetlerinin Ocak - Nisan 2008 dönemine ait günlük getiri oranları yardımıyla farklı yatırımcı tiplerine göre altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryoların çözümü için Fang ve diğerleri (2005) tarafından önerilen optimizasyon modeli kullanılmıştır ve senaryolardaki farklılıkların oluşturulan portföyler üzerindeki etkileri gözlenmeye çalışılmıştır.

Oluşturulan bu senaryolara bakıldığında, senaryo 1’de riski seven – iyimser bir yatırımcıya ait bir portföy oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryoda maksimum getiri θ=0,56 olarak bulunmuştur. Böylece risk almayı seven iyimser bir yatırımcının portföyündeki hisse senetlerinin dağılımı % 25 ile BERDN, % 3 ile DOKTS ve % 71 ile VESBE olarak bulunmuştur. Senaryo 2’ de ise risk almayı sevmeyen – kötümser bir yatırımcı tipi göz önüne alınarak bir portföy oluşturulmuştur. Bu portföyde ise, % 7 ile BERDN, % 26 ile DOKTS, % 37 ile EMNIS ve % 28 ile VESBE hisse senetleri yer almaktadır. Senaryo 2’ye ait maksimum getiri θ=2,17 olarak elde edilmiştir. Senaryo

2’de elde edilen sonuçlar beklentilere ters olarak gerçekleşmiştir. İyimser yatırımcı portresinden kötümser yatırımcı portresine geçildiği zaman portföyün optimum değerinin düşmesi beklenirken piyasadaki dalgalanmalardan dolayı daha az riski göze alabilen yatırımcının getirisinde Senaryo 1’ e oranla yükselme görülmektedir.

Senaryo3’ te senaryo 1’ deki gibi risk almayı seven iyimser bir yatırımcı tipine ait bir portföy oluşturulmuş ve bu portföydeki hisse senelerinin ağırlıları % 96 ile BERDN e % 4 ile DOKTS olarak bulunmuştur. Bu senaryoya göre elde edilen maksimum getiri değeri $\theta = 0{,}76$’ dır. Senaryo 4 ‘te risk almayı sevmeyen kötümser bir yatırımcının portföyünde yer alan hisse senetlerinin ağırlıkları % 98 ile BERDN, % 0,1 ile DOKTS ve % 2 ile EMNIS’ tir.

Son olarak beşinci ve altıncı senaryolarda ise sırasıyla iyimser ve kötümser yatırımcı tiplerine göre oluşturulan portföylerin her ikisinde de sadece DOKTS hisse senedi yer almaktadır. En yüksek β katsayısına sahip olan bu hisse senedinden dolayı piyasadaki yükseliş ve düşüşlerden en çok bu iki yatırımcı tipi etkilenecektir.

Böylece, belirsizliği modele dahil eden stokastik programlama yardımıyla farklı yatırımcı tiplerine göre değişik öneriler sunulmuştur. Modele daha fazla sayıda menkul kıymet eklenerek ve senaryo sayısı arttırılarak bu çalışmanın daha da geliştirilmesi mümkündür.

KAYNAKÇA

AKAY ve diğerleri, “Portföy Seçimi Problemi için KDS/GA Yaklaşımı”, Ankara: **Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak.Dergisi**, Cilt: 17, No: 4, 2002.

AKSOY, H. “Dinamik Sistemlerde Bulanık Mantık Metodu ve Örnek Olarak Hisse Senedi Piyasasının Modellenmesi”, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Bankacılık Araştırma Merkezi.

ARDA, Y. “Integration of Fuzzy Optimization and Stochastic Programming in Multi-Commodity Network Flow Problems”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, 2001.

ATAN, M. “Karesel Programlama ile Portföy Optimizasyonu”, VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, İstanbul, 2005.

AYDIN, A. “Sermaye Yeterliliği ve VAR: Value At Risk”, **Türkiye Bankalar Birliği Bankacılık ve Araştırma Grubu**, Eylül, 2000.

BIRGE, J.R. ve F.LUVEAUX. **Introduction to Stochastic Programming**, New York: Springer, 1997.

BOARD J., C. Sutcliffe. ve W. Ziemba. “The Application of Operations Research Techniques to Financial Markets”, **SPEPS**, Vol.1999, 6, 1999.

BONAMI P., M.A. Lejeune. “An Exact Solution Approach for Portfolio Optimization Problems under Stochastic and Integer Constraints”**,** **SPEPS**, Vol.2007, 1, 2007.

BOZDAĞ, N., Ş. ALTAN ve S. DUMAN, "Minimaks Portföy Modeli ile Markowitz Ortalama Varyans Portföy Modelinin Karşılaştırılması", VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, İstanbul, 2005.

BOZKUŞ, S. "Risk Ölçümünde Alternatif Yaklaşımlar: Riske Maruz Değer (VaR) ve Beklenen Kayıp (ES) Uygulamaları", D.E.Ü., **İ.İ.B.F Dergisi** Cilt:20, Sayı:2, 2005.

BRADLEY S.P., A.C.Hax ve T. L.Magnanti. **Applied Mathematical Programming, Addison-Wesley**, 1977.

CONSIGLI, G. "Scenario Generation Tool", http://giorgioconsigli.it/download/1024931901.pdf, (Erişim Tarihi: 26.04.2007)

CROUHY, M. **Risk Management**, New York: McGraw-Hill, 2001.

ÇETİN, E. "Stokastik Programlama Yöntemiyle Bir Portföy Optimizasyon Modelinin Geliştirilmesi", Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, 2004.

DAMODARAN, A. **Strategic Risk Taking: A Framework for Risk Management**, Pennsylvania**:** Wharton School Publishing, 2007.

DANTZIG, G. "Linear Programming", **INFORMS**, Vol. 50, No. 1, Ocak, 2002.

DAUM, J.H, "How Scenario Planning Can Significantly Reduce Strategic Risks and Boost Value in the Innovation Chain", **The New Economy Analyst Report**, Eylül, 2001.

DEFOURNY, B. ve L. "Wehenkel, Projecting Generation Decisions Induced by a Stochastic Program on a Family of Supply Curve Functions", Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry, Mart, 2007.

DOMENICA, N.D. ve diğerleri, "Stochastic Programming and Scenario Generation within a Simulation Framework: An Information Systems Perspective, **Decision Support Systems**", Vol. 42, 4, Ocak, 2007.

DOYLE, N. ve J. Gralton, "Transport Portfolio Scenario-Based Planning for the Queensland", **4Seeable Futures**, Queensland Transport Facts, 2006.

ERDOGDU, V. "Su Fiyatının Belirlenmesinde Bir Stokastik Programlama Uygulaması", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 1999.

FANG Y., LAI K.K. ve S.Y. WANG., Portfolio Rebalancing Model with Transaction Costs Based On Fuzzy Decision Theory, Elsevier: 2005.

FOURER R., D.M. Gay ve B.W. KERNIGHAN. **A Modeling Language for Mathematical Programming**, Danver: The Scientific Press Series, 1993.

FOURER F. ve L. Lopes. *StAMPL:* "A Filtration-Oriented Modeling Tool for Stochastic Programming," Technical Report, Chicago: Northwestern University, 2003.

GÜNGÖR Z. ve Ö. Demirtaş. "Portföy Yönetimi ve Portföy Seçimine Yönelik Uygulama", **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Cilt:1, Sayı:4, Temmuz, 2004.

HAMMER, P.I., G. Zoutendijk. **Mathematical Programming in Theory and Practice: Proceedings of the NATO**, Portugal: North Atlantic Treaty Organization, 1972

HENRION R. "Some Remarks on Value-at-Risk Optimization", **SPEPS**, Vol.2006, 15, 2006.

HOCHREITER, R., G.C. Pflug ve D. Wozabal. "Application-oriented Multi-stage Stochastic Programming for Electricity Markets". Energy Workshop, Austria, 2006.

HORTON, J. "Scenario Planning: Exploring the Future of ORMS Practice", Workshop Briefing Paper, Hong Kong: INFORMS International, 2006.

HøYLAND, K. ve S.W. Wallace, "Generating Scenario Trees for Multistage Decision Problems", **INFORMS**, Vol. 47, No. 2, Şubat, 2001

HøYLAND, K., S.W. Wallace ve M. Kaut. "A Heuristic for Generating Scenario Trees for Multistage Decision Problems", **SPEPS**, Vol.2000, 18, 2000.

HUANG, K. ve S. Ahmed. "The Value of Multi-Stage Stochastic Programming in Capacity Planning Under Uncertainty", **SPEPS**, Vol.2005, 15, 2005

İLHAN, Aslı. "Riske Maruz Değer", Ödev, Ankara: Başkent Üniversitesi, 2002, http://www.riskyonetimi.com/valueatrisk(turkce).doc

KALL, P. ve S.W. Wallace, **Stochastic Programmming**, Zurich and Trondheim: John Wiley&Sons, 1. Basım, Şubat, 1994

KALLRATH, J. **Modeling Languages in Mathematical Optimization (Applied Optimization)**, USA: Kluwer Academic Publishers, 2004.

KAUT, M. ve S.W. Wallace, "Evaluation of Scenario-Generation Methods for Stochastic Programming", **SPEPS**, Vol.2003, 14, 2003.

KAHVECİOĞLU A. ve E KIYAK, "Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması", **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Cilt: 1, Sayı no: 2, Temmuz, 2003.

KOUWENBERG, R. ve S.A. Zenios, "Stochastic Programming Models for Asset/ Liability Management", Working Paper, HERMES Center of Excellence on Computational Finance & Economics, University of Cyprus, 2001.

KÜÇÜKOCAOĞLU, G. "Risk Yönetimi ve Riske Maruz Değer", http://www.baskent.edu.tr/~gurayk/finpazcuma24.doc

LINDEROTH, J, "Multistage Stochastic Programming", IE 495, Lecture 21, 2003, http://www.lehigh.edu/~jtl3/teaching/ie495/lecture21.pdf

MITRA, S. "A White Paper on Scenario Generation for Stochastic Programming", **Optirisk Systems: WHITE PAPER SERIES**, Finance, OPT004, Temmuz, 2006.

MÖLLER, A., W. Römisch, ve K. Weber, "A New Approach to O&D Revenue Management Based on Scenario Trees", **Journal of Revenue and Pricing Management**, Vol. 3, No. 3, 2004.

NAR, D. ve N. Alyüz, "Demetleme Yönteminin 3-Katmanlı Mimari Yapı ile Gerçeklenmesi", Bitirme Ödevi, http://www.buzluca.info/tezler/b05_1.pdf

PARDALOS, P.M. ve M.G.C.Resende, **Handbook of Applied Optimization**, New York, Kluwer Academic Publishers, 2002.

PFLUG, G.C. "Introduction to Stochastic Optimization: Theory and Applications", Bergamo: Stochastic Programming School, 2007.

PHILIPPE, J. **Value at Risk: The Benchmark for Controlling Market Risk**, McGraw-Hill, 2000.

PIRBHAI, M., G. Mitra ve T.Kyriakis, "Asset Liability Management Using Stochastic Programming", **Optirisk Systems: WHITE PAPER SERIES**, 2003.

POOJARI A. ve B. Varghese, “Genetic Algorithm Based Technique for Solving. Chance Constrained Problems”, **SPEPS**, Vol.2006,3, 2006.

ROCKAFELLAR, T.R. ve S. Uryasev. “Optimization of Conditional Value-at-Risk”, **Journal of Risk 2**, s.21-41, 2000

ROGER J-B.Wets. “Stochastic Programming Models: Wait-and-See versus Here-and-Now”, **Institute for Mathematics and Its Applications**, Vol. 128, s.1, 2002.

RUSZCYZNSKI, A. and A. Shapiro. “**Handbooks in OR&MS**”, Elsevier, Vol. 10, s. 267-351, 2003

SARGIN, Fatih. “Portföy Yönetiminde Performans Ölçülmesi: İMKB’de Uygulama”, http:// wordpress.com/tag/yuksek-lisans-tezi/feed (Erişim Tarihi: 26.07.2006).

SENGUPTA J.K. “Decision Models in Stochastic Programming: Operational Methods of Decision Making under Uncertainty”, **North Holland Ser. in System Sci. and Engineering**, Vol.7, New York: North- Holland, , 1982.

SHAPIRO, A. ve A. Philpott. “A Tutorial on Stochastic Programming”, http://stoprog.org/index.html?SPTutorial/SPTutorial.html.

SHAPIRO, A. ve T.H.Mello, “A Simulation-Based Approach to Two-Stage Stochastic Programming with Recourse”, **Journal of Mathematical Programming**, Vol.81, No.3, May, 1998.

TANER, Z. “A Study of Different Perspectives in Facility Location Problems”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, 2002.

TARIM, Ş. “Stokastik Programlama için Yeni Bir Senaryo İndirgeme Yöntemi ve Aktif-Pasif Yönetiminde Uygulanması”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 2004.

TOPALOGLOU, N. “Enterprise-Wide Risk Management”, Stochastic Programming: Theory and Applications, Bergamo, 2007.

TOPCU, İ. “Karar Verme Yöntemleri”, http://www.isl.itu.edu.tr/ya/KVY1.ppt. (Erişim Tarihi: 05.04.2006)

TÜRE, H. “Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 2006.

URYASEV, S. “Conditional Value-at-Risk: Optimization Algorithms and Applications”, **Financial Engineering News**, No. 14, s. 1-5, Şubat, 2000.

USLU, Selman. “Stochastic Programming Models for Sustainable Issues: Earthquake and Forest Fires”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, 2004.

WALLACE, S.W. “Scenario Generation”, http://home.himolde.no/~wallace/scen-gen.htm
(Erişim Tarihi: 12 07 2007)

WALLACE, S.W. “Scenario Based Planning”,
http://home.himolde.no/~wallace/scenarios.htm, (Erişim Tarihi: 12 07 2007)

YARALIOĞLU K. “Uygulamada Karar Destek Yöntemleri”, İzmir: İlkem Ofset, 2004.

YU, L.Y, X.D.Ji ve S.Y. WANG, “Stochastic Programming Models in Financial Optimization: A Survey, Advanced Modeling and Optimization”, **AMO - Advanced Modeling and Optimization**, Vol.5, No.1, s.1-26, 2003.

------- “Endüstri ve Sistem Mühendisliğine Giriş”, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi**,** http://end.etu.edu.tr/end102/dosyalar/Karar%20teorisi.ppt#3

(Erişim Tarihi: 10.07.2007)

------- http://www.bized.co.uk (Erişim Tarihi: 06.03.2006)

------- http://www.stoprog.org/index.html?SPTutorial/SPTutorial.html
(Erişim Tarihi: 06.04.2006)

------- "Stochastic Programming in Short", http://hkkk.fi/~systems/sp
(Erişim Tarihi: 08.01.2007).

------- "Risk Yönetimi",
http://www.turk-
ie.org/cms/index.php?option=com_docman&task=down&bid=67,
(Erişim Tarihi:19.07.2007).