

**YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE  
EVRİMSEL ALGORİTMA KULLANIMI  
YAP İŞLET DEVRET MODELİ  
ALTYAPI PROJESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

**Elif ACAR**

**DOKTORA TEZİ  
İşletme Anabilim Dalı  
Sayısal Yöntemler  
Danışman: Prof. Dr. Hasan DURUCASU**

**Eskişehir  
Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü  
Şubat, 2014**



## Jüri ve Enstitü Onayı

Elif ACAR'ın "Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Evrimsel Algoritma Kullanımı Yap İşlet Devret Modeli Altyapı Projesi Üzerine Bir Uygulama" başlıklı tezi 25 Şubat 2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, İşletme (Sayısal Yöntemler) Anabilim Dalında Doktora tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr.Hasan DURUCASU

Üye : Prof.Dr.Emel ŞIKLAR

Üye : Prof.Dr.Muzaffer KAPANOĞLU

Üye : Doç.Dr.Mehmet BAŞAR

Üye : Doç.Dr.Aslı AFŞAR

Prof.Dr.B.Zafer ERDOĞAN  
Anadolu Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü



## Öz

# YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE EVRİMSEL ALGORİTMA KULLANIMI YAP İŞLET DEVRET MODELİ ALTYAPI PROJESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Elif ACAR

İşletme Anabilim Dalı (Sayısal Yöntemler)

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Şubat 2014

Danışman: Prof. Dr. Hasan DURUCASU

Altyapı projelerinin gerçekleştirilmesinde Yap-İşlet-Devret (YİD) modeline duyulan ilgi giderek artmaktadır. YİD projeleri sayesinde, altyapı projelerinin gerçekleştirilmesindeki devletin riskleri ve ödülleri özel sektöre devredilmektedir. YİD projelerinin başarılı bir biçimde uygulanması; proje sponsorlarının YİD proje ihalesini kazanma ve dış fon ihtiyacı için borç bulma olasılıklarını yükselten bir yapının oluşturulabilmesine bağlıdır. Borç/özsermaye oranı, imtiyaz süresi ve fiyat değişkenleri YİD projelerindeki kritik finansal unsurlardır. Bu yüzden bunlar, proje sponsorlarının olduğu kadar projeye taraf olanların çıkarlarını da gözetecek bir biçimde tasarlanmalıdır.

Bu çalışmanın amacı bir YİD yatırım projesinin fizibilite çalışmasının tamamlanmasının ardından gerçekleşen YİD proje değerlendirme aşamasında karar alıcılar için makul bir kâr marjı altında, tüm gerekli finansal kısıtlamaları karşılayan ve kritik finansal faktörlerin optimum bileşimini belirleyen finansal optimizasyon modelleri geliştirmektir. Söz konusu bu modeller proje sponsorlarının bakış açısından YİD ihalesinin kazanma ve borç bulma olasılığını azami hale getirme hedeflerini içeren finansal modellerin ve optimizasyon modellerinin bir kombinasyonudur.

Bu çalışmada, projeye finansal canlılık sağlayan önemli finansal unsurlar en uygun biçimde bütünleştirilerek proje finansmanı ile ilgili yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Optimizasyon denklemleri ve kısıtları, dinamik yöntemler olan indirgenmiş nakit akımı analizine dayanarak geliştirilmiş ve amaç fonksiyonunun lineer olmayan davranışı için gerçek kodlu Evrimsel Algoritma kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Böylelikle finansal karar verme sürecine daha etkin ve verimli bir destek sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yap-İşlet-Devret, Proje Değerlendirme, Optimizasyon, Evrimsel Algoritma, Diferansiyel Evrim

## Abstract

# USE OF EVOLUTIONARY ALGORITHM IN THE INVESTMENT PROJECTS EVALUATION AN APPLICATION ON THE INFRASTRUCTURE PROJECT WITHIN THE CONTEXT OF BUILD OPERATE TRANSFER MODEL

Elif ACAR

Department of Business Administration (Quantitative Methods)  
Anadolu University, Graduate School of Social Sciences, February 2014  
Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hasan DURUCASU

In the realization of infrastructure projects, the interest shown in the Build-Operate-Transfer (BOT) model is on the increase. Through the BOT projects, the risks and awards of the public in the realization of infrastructure projects are transferred to the private sector. Implementing the BOT projects successfully depends on the ability to constitute a structure which enhances the possibilities of the sponsors' achievement in the BOT tender and the finding debt for the external fund need. The debt to equity ratio, the concession length and the price variables are the critical financial factors in BOT projects. Thus, these factors must be designed in the way that they will also look out for the interests of the participants of the project as well as the project sponsors.

The purpose of this study is to develop financial optimization models meeting all the necessary financial constraints and determining the optimum combination of the critical financial factors under a reasonable level of profit margin for the decision-makers at the stage of BOT project appraisal taking place in the wake of the completion of the feasibility study of BOT investment project. These models in question, are, from the viewpoint of project sponsors, the combination of financial models and the optimization models comprising the objectives to maximize the potential of winning the BOT tender and finding loan.

In this study, a new approach regarding the project finance has been put forth by optimally integrating the major financial factors that provide financial viability for the project. The optimization equations and constraints were developed on the basis of the discounted cash flow analysis which is among the dynamic methods, and the calculations were made by utilizing the real-coded Evolutionary Algorithm for the non-linear behaviour of the objective function. In this way, a more efficient and productive support is provided for the financial decision-making process.

**Keywords:** Build Operate Transfer, Project Evaluation, Optimization, Evolutionary Algorithm

## Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi

21/03/2014

Bu tez çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumunda bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde intihal içermediğini beyan ederim.

Her hangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Elif AÇAR

## Önsöz

Doktora öğrenimim boyunca ve özellikle tez çalışması süreci içinde göstermiş olduğu büyük desteği, özverisi, ilgisi, değerli zamanı, katkıları ve sabrı için değerli danışmanım Sayın Pof. Dr. Hasan DURUCASU'ya,

Değerli görüş ve önerileriyle tez çalışmasına önemli katkılarda bulunan hocalarım Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU'ya ve Doç. Dr. Mehmet BAŞAR'a,

Her konuda ve her zaman bana destek olan, teşvik eden ve güvenen annem ve babama, doktora bursu için TÜBİTAK'a,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Elif ACAR

## Özgeçmiş

**Elif ACAR**

### **İşletme Anabilim Dalı Doktora**

#### **Eğitim**

Y.Ls	2007	Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı
Ls.	2004	Adnan Menderes Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi (İ.İ.B.F), İşletme Bölümü
Lise	2000	Denizli Mehmet Akif Ersoy Yabancı Dil Ağırlıklı Lise, Fen Bölümü

#### **Kişisel Bilgiler**

Doğum yeri/yılı: Egirdir/03.02.1982 Cinsiyet: Kadın Yabancı Dili: İngilizce

#### **Başarılar/Ödüller**

Lisans bölüm 3. lüğü derecesi

Y.Lisans bölüm 1.ligi derecesi

## İçindekiler

	<u>Sayfa</u>
Jüri ve Enstitü Onayı.....	ii
Öz.....	iii
Abstract.....	iv
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi .....	v
Önsöz.....	vi
Özgeçmiş .....	vii
Tablolar Listesi .....	xiii
Şekiller Listesi .....	xiv
Kısaltmalar Listesi.....	xvi
1. Giriş.....	1
1.1. Araştırma Problemi .....	3
1.2. Amaç.....	7
1.3. Önem .....	9
1.4. Varsayımlar .....	9
1.5. Sınırlılıklar.....	10
1.6. Tanımlar.....	10
1.7. Tez Organizasyonu.....	10
2. Yap İşlet Devret Modeli .....	13
2.1. Kamu-Özel İşbirliği Altyapı Projeleri ve YİD.....	13
2.2. Proje Finansmanı Olarak YİD Modeli.....	18
2.3. YİD Projesi Tarafları.....	19
2.4. YİD Projelerindeki Belirsizlikler ve Risk .....	22
2.4.1. Proje tamamlama faaliyetleri belirsizlikleri .....	23
2.4.2. Pazar ortamı.....	23
2.4.3. Yatırım ortamı .....	24
2.4.4. Hükümet hareketleri .....	24
2.4.5. Beklenmedik olaylar .....	25
2.5. YİD Projelerinde Riskten Korunma .....	25
2.5.1. Riskten korunma ve sigorta.....	25
2.5.2. Hükümet desteği .....	26
2.5.3. Self-finansal destek .....	28
2.6. Varsayımlar .....	29

<b>3. Literatür Çalışması.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. YİD Proje Değerlendirme Yöntemleri .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1. Belirlilik ortamında kullanılan statik yöntemler .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.1.1. Geri Ödeme Süresi (GÖS) yöntemi .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.1.2. Ortalama Getiri Oranı (ARR) yöntemi .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2. Belirlilik ortamında kullanılan dinamik yöntemler .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2.1. Net Bugünkü Değer yöntemi.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2.2. İç Getiri Oranı yöntemi.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.3. Reel Opsiyonlar yöntemi.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.4. Düzeltilmiş Bugünkü Değer (APV) yöntemi .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.5. YİD projesi için uygun yatırım değerlendirme yönteminin seçimi .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Belirsizlik Altında YİD Proje Değerlendirme Yöntemleri .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1. Olasılık teorisini kullanan yaklaşımlar .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1.1. Analitik yöntem.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.1.2. Simülasyon.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2. Bulanık küme teorisi .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.3. Olasılıklı yaklaşımlarla bulanık küme teorisinin karşılaştırılması.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Optimizasyon Yöntemleri.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.1. Optimizasyon problemi standart yapısı ve formüle edilmesi .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.2. Matematiksel programlama modelleri .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.2.1. Doğrusal programlama .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.2.2. Doğrusal olmayan programlama.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.3. Meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.3.1. Tavlama Benzetimi .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.3.2. Tabu Arama .....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.3.3. Evrimsel Algoritma.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.3.4. Karınca Kolonisi .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.4. Optimizasyon yöntemlerin karşılaştırılması.....</b>	<b>61</b>
<b>4. Çalışmanın Kuramsal Çerçevesi .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1. Finansal Model Gelişimi .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.1. YİD projelerinde finansal analiz.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.2. Önemli tanımlar.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.3. Finansal model için varsayımlar .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1.4. Finansal modelin teorik çerçevesi .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1.4.1. YİD projelerinde nakit akışlarının bileşenleri .....</b>	<b>69</b>

4.1.4.2. YİD projelerinde ana paydaşların nakit akışlarına farklı bakış açıları.....	73
4.1.4.3. Finansal performans ölçümleri.....	74
4.2. EA İle Optimizasyon .....	75
4.2.1. EA kavramına giriş .....	75
4.2.1.1. EA'nın temel kavramları .....	78
4.2.1.2. EA ve diğer optimizasyon yöntemleri .....	79
4.2.1.3. EA'nın avantajları .....	79
4.2.2. EA'nın bileşenleri ve işleyiş kuralları.....	80
4.2.2.1. Kodlama.....	82
4.2.2.2. Popülasyon.....	83
4.2.2.3. Uygunluk fonksiyonu.....	84
4.2.2.4. EA operatörleri .....	84
4.2.2.4.1. Ebeveyn seçim operatörü .....	85
4.2.2.4.2. Çaprazlama operatörü.....	85
4.2.2.4.3. Mutasyon operatörü.....	86
4.2.2.5. Kontrol parametreleri .....	86
4.2.2.5.1. Popülasyon büyüklüğü.....	86
4.2.2.5.2. Kuşak aralığı.....	87
4.2.2.5.3. Seçim stratejisi (değişim mekanizması) .....	88
4.2.2.5.4. Uygunluk fonksiyonunun ölçeklenmesi.....	88
4.2.2.6. Sonlandırma kriteri .....	88
4.2.3. Diferansiyel Evrim algoritması .....	89
4.2.3.1. Başlangıç popülasyonu .....	91
4.2.3.2. DE operatörleri .....	91
4.2.3.2.1. Mutasyon operatörü.....	92
4.2.3.2.2. Çaprazlama operatörü.....	93
4.2.3.2.3. Seçim operatörü .....	94
4.2.3.3. DE algoritmasının işleyişi.....	95
4.2.3.4. DE algoritmasının seçilme sebepleri .....	95
4.2.4. Çok amaçlı EA (MOEA) .....	96
4.2.5. Ayrıştırıma dayalı çok amaçlı DE algoritması (MOEA/D-DE).....	99
4.2.5.1. EA üzerinde ayrıştırma uygulaması .....	100
4.2.5.1.1. Ayrıştırma yöntemi .....	101
4.2.5.2. MOEA/D-DE algoritmasının yapısı .....	103
4.2.5.2.1. Komşuluk kavramı.....	105

4.2.5.2.2. Algoritmanın çalışma düzeni .....	106
4.2.5.2.3. Yer değişim mekanizması.....	110
4.2.5.2.4. DE arama motoru .....	112
4.2.5.2.5. MOEA/D-DE'nin özellikleri.....	112
4.3. Monte-Carlo Simülasyonu.....	113
<b>5. Bir YİD Yatırım Projesinin İhale Kazanma Potansiyelinin Büyütülmesi.....</b>	<b>117</b>
<b>5.1. Model Girdileri ve Sayısal Örnekler .....</b>	<b>117</b>
5.1.1. Model girdileri .....	118
5.1.2. Verilerin değerlendirilmesi.....	120
5.1.3. Karar değişkenlerinin duyarlılık analizleri .....	122
<b>5.2. İhale Kazanma Probleminin Optimizasyon Problemine Dönüştürülmesi .</b>	<b>125</b>
<b>5.3. Optimizasyon Problemi .....</b>	<b>128</b>
5.3.1. Amaç fonksiyonu .....	128
5.3.2. Kısıtlamalar.....	129
<b>5.4. Deterministik Yatırım Ortamında Optimizasyon Probleminin Çözümü ...</b>	<b>131</b>
5.4.1. Çözüm yöntemi .....	131
5.4.1.1. Hesaplama prosedürleri .....	133
5.4.2. Sayısal örnek .....	138
5.4.3. Model sonuçlarının analizi.....	140
5.4.3.1. Deterministik DE (BWI Model) yakınsaması .....	140
5.4.3.2. İmtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerleri .....	145
<b>5.5. Karar Değişkenlerinin Duyarlılığı.....</b>	<b>146</b>
<b>5.6. Belirsiz Yatırım Ortamında YİD Projesinin Değerlendirilmesi.....</b>	<b>147</b>
5.6.1. Simülasyon yöntemiyle projenin yapılabirlik analizi .....	148
<b>5.7. Senaryo Analizi.....</b>	<b>151</b>
<b>6. YİD Yatırım Projesinin Borç Bulma Potansiyelinin Maksimizasyonu .....</b>	<b>155</b>
<b>6.1. Problemin Optimizasyon Problemi Haline Dönüştürülmesi.....</b>	<b>155</b>
<b>6.2. Optimizasyon Problemi .....</b>	<b>156</b>
6.2.1. Amaç fonksiyonu .....	156
6.2.2. Kısıtlamalar.....	157
<b>6.3. Optimizasyon Probleminin Çözümü .....</b>	<b>157</b>
6.3.1. Çözüm yöntemi .....	157
6.3.2. Sayısal örnek .....	158
6.3.3. Model sonuçlarının analizi.....	158

6.3.3.1. Deterministik DE (LAI Model) yakınsaması .....	158
6.3.3.2. İmtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerleri.....	162
6.3.4. Sonuçların karşılaştırılması.....	163
<b>7. İhale Kazanma ve Borç Bulma Potansiyelinin Birlikte Maksimize Edilmesi ...</b>	<b>165</b>
7.1. Çok Amaçlı Problemin Formüle Edilmesi İhtiyacı.....	165
7.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Problemi.....	166
7.2.1. Amaç fonksiyonları .....	166
7.2.2. Kısıtlamalar.....	167
7.3. Çok Amaçlı YİD Projesi İhale Optimizasyon Modeli.....	167
7.3.1. Uzlaşmış-tatminkâr en iyi çözüm.....	168
7.3.2. Hesaplama adımları .....	169
7.4. Sayısal Örnek.....	170
7.4.1. Model girdileri .....	170
7.4.2. Çok amaçlı model sonuçlarının analizi.....	171
7.4.3. Sponsorların kârlılığının senaryo analizi .....	179
<b>8. Araştırma Sonuçları, Tartışma ve Öneriler .....</b>	<b>181</b>
<b>Kaynakça .....</b>	<b>188</b>

## Tablolar Listesi

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. Yatırım Değerleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	42
Tablo 2. Olasılıksal Yaklaşımlarla Bulanık Küme Teorisinin Karşılaştırılması ....	49
Tablo 3. Optimizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	62
Tablo 4. YİD Modeli İçin Net Nakit Akışı Tablosu .....	65
Tablo 5. İki Amaçlı Problem İçin Kromozomlara Ağırlık Değerleri Atanması ...	106
Tablo 6. Yatırım Elemanları.....	118
Tablo 7. Finansal Parametreler .....	118
Tablo 8. Nakit Akışları ve Finansal Performans Ölçümleri .....	121
Tablo 9. Deterministik DE (BWI Model) İçin Parametreler.....	139
Tablo 10. Deterministik DE (BWI)'den Elde Edilen Sonuçlar.....	145
Tablo 11. Belirsiz Proje Parametreleri .....	148
Tablo 12. Senaryo Analizi İçin DE Algoritması Parametreleri.....	152
Tablo 13. Senaryo Analizi .....	153
Tablo 14. Deterministik DE (LAI)'den Elde Edilen Sonuçlar.....	163
Tablo 15. DE (BWI) ve DE (LAI)'den Elde Edilen İmtiyazlı Öğelerin Yakın Optimal Değerlerinin Karşılaştırılması .....	164
Tablo 16. Deterministik MOEAD/D-DE (BWI-LAI) İçin Parametreler .....	171
Tablo 17. IRR <sup>S</sup> %15 Kârlılık Altında BWI ve LAI Değişimi(Trade-Off).....	173
Tablo 18. %15 Kârlılık Altında BWI ve LAI'deki (Trade-Off) Değişimin Performans Ölçümleri.....	175
Tablo 19. BWI ve LAI İçin En İyi Çözümler .....	178
Tablo 20. MOEA Tekrar Edilebilirlik Testi.....	178
Tablo 21. IRR %17 Kârlılık Altında BWI ve LAI Değişimi(Trade-Off) .....	179
Tablo 22. %17 Kârlılık Altında BWI ve LAI'deki (Trade-Off) Değişimin Performans Ölçümleri.....	180

## Şekiller Listesi

### Sayfa

Şekil 1. Gelişmekte Olan Ülkelerde KÖİ Pazarının Yıllara Göre Dağılımı (1990-2011) .....	14
Şekil 2. YİD Projelerinin Yapısı, İşleyişi ve Katılımcıların Kontrat İlişkileri .....	22
Şekil 3. Bir YİD Projesinin Nakit Akışları .....	66
Şekil 4. Evrimsel Algoritmaların Sözde Kodunun Genel Şekli .....	77
Şekil 5. Evrimsel Algoritmaların Akış Diyagramı .....	81
Şekil 6. DE İçin Binom Çaprazlama ile Yavru Vektörün Oluşturulması .....	94
Şekil 7. Diferansiyel Evrim Algoritmasının Akış Diyagramı.....	95
Şekil 8. İki Amaçlı Optimizasyon İçin Pareto-Front Gösterimi .....	100
Şekil 9. Ağırlık Matrisinin Uyum Fonksiyonu Üzerine Etkisi.....	102
Şekil 10. İki Amaçlı Problem İçin Komşuluk Yapısı.....	105
Şekil 11. Yer Değişim Mekanizmasının Gösterimi .....	111
Şekil 12. Sponsorların Nakit Akışı Profili .....	122
Şekil 13. NPV'nin Özsermaye Seviyesine Duyarlılığı.....	123
Şekil 14. NPV'nin Yurtiçi Birim Ücret Tarifesine Duyarlılığı .....	124
Şekil 15. NPV'nin Yurtdışı Birim Ücret Tarifesine Duyarlılığı .....	124
Şekil 16. NPV'nin Sponsor Çalışma Dönemine Duyarlılığı .....	125
Şekil 17. Birim Fiyat ve Özsermaye Seviyesinin Yararlılıkları .....	127
Şekil 18. DE (BWI Model)'in Hesaplama Prosedürleri Akış Şeması.....	137
Şekil 19. Mevcut En İyi BWI Uyum Değerinin Gelişim Profili .....	141
Şekil 20. Deterministik DE'den (BWI Model) Elde Edilen Genlerin Pozisyonu ..	142
Şekil 21. Deterministik DE (BWI Model)'den Sağlanan Genlerin Evrimi.....	144
Şekil 22. BWI'nin Karar Değişkenlerine Duyarlılığı .....	146
Şekil 23. Simulasyonla NPV Dağılımı .....	150
Şekil 24. BWI'den Elde Edilen Değerlerle NPV Dağılımı.....	151
Şekil 25. Mevcut En İyi LAI Uyum Değerinin Gelişim Profili .....	159
Şekil 26. İlk Nesildeki Karar Değişkenlerinin Değerlerine Karşılık Gelen LAI Uyum Değerlerinin Nokta Dağılımı .....	160
Şekil 27. Son Nesildeki Karar Değişkenlerinin Değerlerine Karşılık Gelen LAI Uyum Değerlerinin Nokta Dağılımı .....	161

<b>Şekil 28. Deterministik DE (LAI Model)'den Sağlanan Genlerin Evrimi.....</b>	<b>162</b>
<b>Şekil 29. MOEAD/D-DE Çok Amaçlı Optimizasyon Süreci (BWI Ve LAI) .....</b>	<b>172</b>
<b>Şekil 30. IRR %15 Kârlılık Altında Pareto-Front.....</b>	<b>172</b>
<b>Şekil 31. Pareto-Front'un Farklı Noktalarındaki Sponsorların Nakit Akışları ...</b>	<b>176</b>
<b>Şekil 32. Pareto Front'un Farklı Noktalarındaki DSCR Profilleri.....</b>	<b>177</b>
<b>Şekil 33. %17 Kârlılık Altında Pareto-Front .....</b>	<b>179</b>

## Kısaltmalar Listesi

<b>AOSM</b>	Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti
<b>APV</b>	Düzeltilmiş Bugünkü Değer (Adjusted Present Value)
<b>ARR</b>	Ortalama Getiri Oranı (Average Rate Of Return)
<b>BCS</b>	Uzlaşmış-Tatminkar En İyi Çözüm (Best Compromise Solution)
<b>BOO</b>	Yap Sahibi Ol, İşlet (Build-Own-Operate)
<b>BOOT</b>	Yap Sahip Ol, İşlet, Devret (Build-Own-Operate-Transfer)
<b>BOT</b>	Build-Operate-Transfer / Yap İşlet Devret
<b>BTO</b>	Yap Devret İşlet (Build-Transfer-Operate)
<b>BWI</b>	İhale Kazanma İndeksi (Bid-Winning Index)
<b>CPU</b>	Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
<b>DBFO</b>	Tasarla Yap Finans Et İşlet (Design-Build-Finance-Operate)
<b>DBOM</b>	Tasarla Yap İşlet Elinde Tut (Design-Build-Operate-Maintain)
<b>DCMF</b>	Tasarla İnşa Et Yönet Finans Et (Design-Construct-Manage-Finance)
<b>DE</b>	Diferansiyel Evrim (Differential Evolution)
<b>DHMİ</b>	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
<b>DSCR</b>	Borç Servis Karşılama Oranı (Debt-Service Coverage Ratio)
<b>DSCR<sub>avg</sub></b>	Ortalama Borç Servis Karşılama Oranı
<b>EA</b>	Evrimsel Algoritma (Evolutionary Algorithm)
<b>FVÖK</b>	Faiz Vergi Öncesi Kar (PBIT)
<b>GÖS</b>	Geri Ödeme Süresi
<b>IRR</b>	İç Getiri Oranı (Internal Rate of Return)
<b>İHD</b>	İşletme Hakkı Devri
<b>KDV</b>	Katma Değer Vergisi
<b>KKS</b>	Karınca Koloni Sistemi
<b>KKT</b>	Karush-Kuhn-Tucker
<b>KÖİ</b>	Kamu Özel Sektör İşbirliği
<b>MIGA</b>	Uluslararası Yatırımları Garanti Ajansı (Multilateral Investment Guarantee Agency)
<b>MOEA</b>	Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma (Multi-Objective Evolutionary Algorithm)
<b>MOEA/D</b>	Ayrıştırmaya Dayalı Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma

<b>MOEA/D-DE</b>	Ayrıştırılmaya Dayalı Çok Amaçlı Diferansiyel Evrim Algoritması
<b>MOGA</b>	Çok Amaçlı Genetik Algoritma (Multi Objective Genetic Algorithm)
<b>MOP</b>	Çok Amaçlı Optimizasyon Problemi (Multi-Objective Optimization Problem)
<b>NPV</b>	Net Bugünkü Değer (Net Present Value)
<b>NSGA</b>	Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm)
<b>PAES</b>	Pareto Arşivleme Evrimsel Stratejisi (Pareto Archived Evolutionary Strategies)
<b>PDF</b>	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (Probability Density Function)
<b>PF</b>	Pareto Front
<b>PFI</b>	Private Finance Initiative (Özel Finanse Edilen Girişimler)
<b>PPP</b>	Public Private Partnerships ( Kamu Özel Sektör İşbirliği)
<b>SA</b>	Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)
<b>SOP</b>	Sponsor Çalışma Dönemi (Sponsor Operation Period)
<b>SPEA</b>	Kuvvet Pareto Evrimsel Algoritma (Strength Pareto Evolutionary Algorithm)
<b>TA</b>	Tabu Arama
<b>VEGA</b>	Vektör Değerlendirmeli Genetik Algoritma (Vector Evaluated Genetic Algorithm)
<b>VBA</b>	Visual Basic For Applications
<b>Yİ</b>	Yap-İşlet
<b>YİD</b>	Yap İşlet Devret
<b>YK</b>	Yap-Kirala
<b>YKD</b>	Yap-Kirala-Devret

## 1. Giriş

Yatırım projelerinin değerlendirilmesi konusunda kullanılan farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Fakat bu yaklaşımlar Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli yatırım projelerinin değerlendirilmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Zira, YİD modeli projelerin ihale aşamasındaki problemleri, belirli kaynakların optimal dağılımını gerektirmesi nedeniyle optimizasyon problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, YİD modeli yatırım projesinin finansal değerlendirilmesinde geleneksel yöntemlere ek olarak optimizasyon yöntemlerinin de kullanımı gerekmektedir. Öte yandan deterministik yöntemlerle çözümü güç olan optimizasyon problemleri için Evrimsel Algoritma (EA) kullanımı yeni bir yaklaşım olarak pek çok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Yatırım proje değerlendirmede evrimsel algoritmaların kullanımını temel alan bu çalışmada YİD modeli bir yatırım projesi üzerine uygulama yapılmıştır.

YİD modeli, devletin bütçe olanaklarıyla karşılanamayan yol, su, elektrik, havaalanı, liman vb. alt yapı projelerinin maliyetlerinin özel bir şirket ya da ortak girişim şirketi tarafından karşılandığı, belirli süre boyunca proje şirketinin tesisi işleterek yatırım maliyetlerini karşıladığı ve kâr elde ettiği, süre sonunda altyapı tesisini işler durumda devlete devrettiği bir finansman modelidir.

YİD projeleri süreç olarak; ilgili hükümet kuruluşunun bir altyapı tesisinin yapımı ve işletilmesi için bir ihale çağrısı hazırlaması ve konuyla ilgilenen özel şirket ya da ortak girişim şirketinin bu çağrıya ilişkin ön hazırlık yapmaları, fizibilite raporları hazırlamaları, hükümete ihaleyle ilgili proje tekliflerini sunmaları ve bu tekliflerin/başvuruların hükümet kuruluşu tarafından seçim işlemi olan ihale süreci ve son olarak projenin geliştirilmesi, uygulanması, faaliyete geçirilmesi ve devredilmesi aşamalarından oluşur.

Konuyla ilgilenen özel bir şirket ya da ortak girişim şirketinin YİD ihalesine başvurması neticesinde ilgili hükümet kuruluşu bu YİD tekliflerini değerlendirirken genel olarak aşağıdaki kriterleri dikkate almaktadır<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> N. Öztürk (1994). Türkiye'de özel sektörün elektrik enerjisi sektörüne katılımı ve Yid modeli uygulamalar. *Türkiye 4. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri*, 7-22 Ekim, s. 205.



- Projeyi üstlenen şirket teknik yönden yeterli uzmanlık ve deneyime sahip olmalıdır. Aynı zamanda şirketin ekonomik yönden güçlü ve kredi itibarının yüksek olması gerekmektedir.

- YİD tesisi tarafından üretilecek mal ve hizmetin satış fiyatının kabul edilebilir düzeyde olması gerekmektedir.

- Devletin yükümlülüklerinin asgari düzeyde tutulması ve tesisin devrinden sonra ilgili hükümet kuruluşunun kâr elde edebilmesi sağlanmalıdır.

- Proje finansmanında öz sermaye/kredi oranının teşvik tedbirlerine uygun olması gerekmektedir.

- Proje teknik ve ekonomik yönden yapılabilir olmalıdır.

YİD ihalelerinde; proje bazında ve işin niteliğine göre en az maliyetle en yüksek faydayı sağlayan, ekonomik açıdan da en avantajlı olan teklif hükümet kuruluşu tarafından kabul edilir. En avantajlı teklifin belirlenmesinde garantilerin çeşidi, miktarı ve süresi, işletme süresi, maliyet, finansman şartları, tarife, kira bedeli, ücret ve gölge ücret koşulları başta olmak üzere idarece uygun görülecek diğer kriterler esas alınır<sup>2</sup>. Değerlendirme kriterleri ne kadar açık olursa olsun, projelere ilişkin teklifler arasında seçim yapmak oldukça zordur. YİD tesisinin imtiyaz/işletme süresi ve tesisten sağlanacak ürün/hizmetlerin fiyatı dışında, güvenilirlik, deneyim, teknoloji transferinin yapılması ve işgücünün sağlanması gibi diğer faktörler de önemle incelenir. YİD ihalelerinde genellikle rekabetçi diyalog ihale usulünden yararlanılır.

Projeyi kazanmak isteyen şirket açısından YİD projesinin finansal değerlendirilmesinde, projenin finansal yapılabilirliği, finansal kapasitesinin, projenin planlanmış olan takvimine bağlı olarak, gerçekleşen maliyetleri karşılayıp karşılayamadığı analiz edilir.

İhale sürecinde şirket, kendi fizibilite raporunu mevcut yönetmeliklerde belirlenmiş kriterleri göz önüne alarak hazırlar ve projeye ait finansal teklifini ilgili hükümet kuruluşuna sunar. Hükümet kuruluşuna sunulan finansal teklifin ana kalemleri; şirketin borçlanma şekli ve kaynakları, sermaye yapısının hazırlığı, imtiyaz süresi, fiyat artışları için başlangıç fiyatı ve garantilerdir. Böylelikle bu kalemleri içeren proje teklifi, ilgili hükümet kuruluşuna ihaleye taraf olan şirketin finansal avantaj bilgisini sağlar. Bu

<sup>2</sup> ... (2011). *Bazı yatırım ve hizmetlerin kamu kesimi ile özel sektör işbirliği modelleri çerçevesinde gerçekleştirilmesine ilişkin kanun tasarısı taslağı*. Madde 8/2 sayfa 4. [www.ekutup.dpt.gov.tr/haber/ahd/ahd/taslak.pdf](http://www.ekutup.dpt.gov.tr/haber/ahd/ahd/taslak.pdf) (Erişim tarihi:03.04.2011)

sayede, ilgili hükümet kuruluşu proje tekliflerini sıralama imkânı bulur. En düşük maliyete, en kısa imtiyaz süresine, en yüksek özsermaye-borç oranına, sağlayacağı ürün/hizmetin en kabul edilebilir fiyat seviyesine sahip projeler en cazip ve avantajlı projelerdir<sup>3</sup>.

### 1.1. Araştırma Problemi

YİD projelerinin uygun kâr seviyesi kazanma olasılığı içermesi, anlaşmanın yüksek maliyetli ve itibarlı olması nedeniyle YİD projesinin kazanılması, şirketler açısından çok önemlidir. Bundan dolayı, bu çalışmada hedeflenen ana amaç, YİD ihalesine katılmak isteyen bir şirketin ya da ortak girişim şirketinin YİD projesini kazanma olasılığının (potansiyelinin) artırılmasıdır.

Finansal analiz kapsamında, YİD projesinin yatırım değerlendirmesi yapılırken farklı tarafların değişik çıkarları gözetilmelidir. YİD projeleri yapıları gereği çok büyük finansman gerektiren yatırımlardır. Bundan dolayı proje şirketi gerekli dış borçları sağlamak için finansal kuruluşları araştırmak ve ikna etmek zorundadır. Proje şirketi, ticari banka kredileriyle, uluslararası kuruluşlardan sağlanan kredilerle ve kredi kuruluşlarından sağlanan fonlarla gerekli dış borcu bulabilir. Alınan borcu geri ödeyebilmek için proje şirketinin finansal kapasitesinin iyi durumda olması gerekmektedir. Bundan dolayı proje şirketi YİD projesinin beklenen gelirlerinden yani projeden beklenen net nakit akışından daha iyi kapasitede olduğunu kredi kurumlarına göstermek zorundadır. Bu da yüksek öz sermayenin varlığıyla ilgilidir. Bu bağlamda sermaye yetersizliğinden dolayı YİD projesini kazanma şansı büyük ölçüde azalır.

Büyük altyapı projelerinin YİD modeliyle gerçekleştirilmeleri oldukça karmaşıktır. Proje taraflarının karmaşık iç ilişkileri yüzünden, her bir tarafın kendine özgü çıkarları ve hedefleri bulunur. Örneğin, proje şirketinin birincil finansal çıkarı, kârını makul bir düzeyde tutarak ihale kazanma beklentisini maksimuma çıkarmaktır. Bunun tersine ilgili hükümet kuruluşunun hedefi, sağlanacak hizmetleri tüketicilere en düşük fiyatla sunmaktır<sup>4</sup>. Proje şirketi yüksek kâr elde etmek isterken aynı zamanda iki temel açıdan ilgili hükümet kuruluşunun beklentisini karşılamak zorundadır. Birincisi

<sup>3</sup> R.L.K Tiong (1996). CSFs in competitive tendering and negotiation model for BOT projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(3), 205-211.

<sup>4</sup> A. Akintoye vd. (2003). Achieving best value in private finance initiative project procurement. *Construction Management and Economics*, 21(5), 461-470.

imtiyaz süresi içinde, son kullanıcılara düşük maliyetli hizmet ya da ürün sağlamak için taban fiyatı (operasyon-işletme dönemi başındaki bir ürünün birim fiyatı) çok yüksek tutmamaktır. İkincisi, imtiyaz dönemini takiben, hükümet kuruluşu bir YİD projesinin kalan ekonomik ömrü boyunca finansal bir kayıpla yüzleşmemelidir. Hükümet kuruluşu genellikle taban fiyatı düşük ve imtiyaz süresi kısa olan proje tekliflerini tercih etmektedir. Tabii ki bu tercih şirketin yüksek kar elde etme amacıyla ters düşmektedir.

Şirkete borç veren kredi kuruluşlarının hedefi ise, kredi riskini en aza indirmek veya borcun geri ödemesini kolaylaştırmaktır. Bundan dolayı, proje şirketinin kredi risklerini azaltan yüksek borç servis karşılama oranına (nakit akışı/borç, DSCR) sahip olması gereklidir. Projeden elde edilecek gelirin projenin borç servisini karşılamaya yetecek düzeyde de olması gerekir<sup>5</sup>. Böylelikle kârlılık, şirketin ihaleyi kazanma hedefini sağlamak için tek kriter haline gelecektir.

Bir YİD yatırım fırsatının değerlendirilmesinde, taban tarife/ücret/fiyat, imtiyaz süresi, borç-öz sermaye oranı, yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, enflasyon oranı ve döviz kuru gibi bir dizi yatırım unsurları, yatırımın beklenen finansal sonuçlarını karakterize eder. Ama bu unsurların, finansal hedeflerin istenen seviyesine eşit katkıda bulunamayacağı gibi rekabete dayalı ihale açısından da aynı düzeyde öneme sahip olamayacağı bilinmelidir<sup>6</sup>.

Örneğin proje şirketi imtiyaz (işletme) süresini; yapılan yatırımın geri dönüşünün üzerine belirli bir miktarda kâr elde edilmesine imkân verecek nakit akışını sağlayacak zamanı dikkate alarak tespit eder. Şirket, yatırım maliyetlerini karşılamak ve daha yüksek kâr elde etmek amacıyla daha uzun imtiyaz süresini tercih edebilir. Hâlbuki hükümet kuruluşu iki ana sebepten dolayı kısa imtiyaz süresini ister. Birincisi, hükümet kuruluşu proje şirketinin aşırı kâr sağlamasını istemez. İkincisi hükümet, şirketin imtiyaz süresinin bitiminde, tesisin ilgili hükümet kuruluşuna bedelsiz devir işlemlerinden sonra işletilmesi yoluyla gelir elde etmek ister. Daha kısa imtiyaz süresi hükümet kuruluşuna daha uygundur. Öte yandan. İmtiyaz süresi kısaldığında, proje şirketi öngörülen kâr seviyesini korumak için alternatif gelir rotası (örneğin daha yüksek düzeyde taban ürün/hizmet fiyatı oranı dikkate alınarak) benimsemek zorundadır.

<sup>5</sup> C. Ersönmez (1995). *Yapı işletme devret modeli ve modelin finansmanına ilişkin bir analiz*. Uzmanlık Tezi. Ankara: Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı, s.31

<sup>6</sup> M. Islam (2008). *Optimizing concessionary items' values for procuring privately financed infrastructure projects*. Ph.D Thesis. Avustralya:Griffith Üniversitesi, s. 8.

YİD tesisi tarafından üretilen ürünün birim tarifesi/ücreti/fiyatı, YİD projesinin finansal sonuçlarını doğrudan etkiler. Başlangıç ücreti/tarifesi belirli bir düzeye sahip olmadan, proje şirketinin istenilen kâr düzeyine ulaşması olanaksız olacaktır. Ayrıca, şirketin yüksek kâr seviyesi kazanma arzusundan dolayı daha yüksek ücret/tarife isteği her zaman birincil hedef olmuştur. Bunun aksine, daha yüksek düzeydeki ücret/tarife kamu tarafından altından kalkılabilir mi? Hükümetin bakış açısından bir YİD projesiyle ilgili temel kaygı, proje şirketi tarafından önerilen tarife/ücret' in halka uygun olup olmadığıyla ilgilidir. Hükümet kuruluşu kamu baskılarından dolayı, şirketin kabul edilebilir düzeyin üzerinde ücret/tarife düzeyi belirlemesine izin vermez<sup>7</sup>. Ama birim ücret/tarife'nin düşük seviyede belirlenmesi durumunda ise proje yüklenicileri (sponsorlar) açısından YİD projesinin kârlılığı azalacaktır.

Bir YİD projesi yatırımında finansal hedeflerin gerçekleştirilmesinde proje şirketinin YİD yatırımını hangi oranlarda borç ve özsermaye kullanarak finanse ettiği de önemlidir. Zaman içinde hükümet, YİD projeleri için %20 özsermaye %80 borç oranına kadar teşvik tedbiri uygulamıştır ve şirketlere önemli bir kolaylık sağlamıştır<sup>8</sup>. Pratik uygulamalarda ise şirketlerin özsermaye oranını %20-25 seçtiği bilinmektedir. İhale sürecinde, ilgili hükümet kuruluşu finansal teklifleri değerlendirirken daha yüksek özsermaye/borç oranına sahip projeleri tercih eder. Fakat özsermaye maliyeti borç maliyetinden daha yüksek olduğundan proje şirketi borçlanarak kaldıraç etkisinden yararlanmak isteyecektir. Şöyle ki proje şirketine ortak olanlar (özsermaye sahipleri), katlandıkları riskin daha yüksek olması nedeniyle yatırımlarına karşı riski de karşılayacak oranda bir gelir beklerler. Bu temel neden özsermaye maliyetinin yabancı kaynak maliyetinden daha yüksek olması sonucunu doğurur. Bakatjan (2003) tarafından yapılan çalışmada; proje şirketi açısından yüksek düzeyde özsermaye kullanılması, YİD projesinin Net Bugünkü Değerini (NPV) ve İç Getiri Oranını (IRR) düşürdüğü iddia edilmiştir<sup>9</sup>. Yüksek düzeyde özsermaye YİD düzeninden dolayı proje şirketinin kâr beklentilerini azalttığı ve şirketin yüksek maliyetli bir kaynak olan özsermayeyi mümkün olduğunca düşük tutma eğiliminde olduğu iddia edilmiştir. Ayrıca YİD projesinin büyük bir yatırım olması nedeniyle, iflas etme tehlikesi de yüksektir bu da

<sup>7</sup> Tiong (1996), s. 205-211.

<sup>8</sup> E. İmre (2001). *Türkiye'de Yap-İşlet-Devret modeli; yasal çatısı, uygulaması*. Yüksek Denetleme Kurulu. [http://www.ydk.gov.tr/seminerler/turkiyede\\_yid\\_modeli.htm](http://www.ydk.gov.tr/seminerler/turkiyede_yid_modeli.htm) (Erişim tarihi:03.06.2011)

<sup>9</sup> S. Bakatjan; M. Arıkan ve R.L.K. Tiong (2003). Optimal capital structure model for BOT power projects in Turkey. *Journal of Construction Engineering and Management*, January-February, s. 89- 97.

özsermayenin maliyetini arttırıcı bir etkidir çünkü herhangi bir iflas halinde borç verenler alacaklarını öncelikle alır daha sonra kalan bakiye özsermaye sahipleri arasında paylaşılır. Yüksek sermaye maliyeti de ürünlerin başlangıç fiyatlarının yükselmesiyle sonuçlanır. Bu da çoğu zaman hükümet kuruluşu açısından arzu edilmez ve hatta kabul edilmez.

YİD yatırımının hangi oranda özsermaye ile finanse edileceği, borç veren kuruluşlar için de önemlidir. Borç veren kuruluşların bakış açısına göre, projenin yüksek seviyede özsermayeye sahip olması daha düşük riski temsil eder<sup>10</sup>. Çünkü öz sermaye düzeyi önemli ölçüde projenin borç kapasitesini etkiler. Diğer şartlar aynı kaldığında, öz sermaye belirli bir seviyeye kadar arttığında borç yükümlülüğü azalır ve borç servisi karşılama oranı yükselir. Böylece, projenin yüksek özsermaye ile yapılıyor olması kredi veren kuruluşun yüksek değerdeki ortalama borç hizmeti karşılama oranı ihtiyacını karşılar. Projenin yüksek borç servis karşılama oranına sahip olması borç veren kuruluşlar için daha çekicidir. Bundan dolayı, uygun dengedeki bir öz sermaye ve borç miktarı, önemli proje ortaklarının farklı finansal perspektiflerini geliştirmek için özellikle gereklidir.

Yukarıdaki tartışmalara göre YİD projelerinin önemli ortakları her zaman, imtiyaz süresinin uygun değerini ayarlamakla, taban fiyatla ve kendi hedeflerindeki öz sermaye seviyesiyle ilgilenirler. Bu, YİD yatırım fırsatının finansal sonuçlarının gerçekleşmesinde çelişkili bir durum ortaya çıkarır. Sonuç olarak imtiyaz süresi, taban fiyat ve öz sermaye seviyesi üç kritik unsurdur. Yukarıda belirtilen çelişkiyle beraber, bu kritik unsurların değerlerinin ayarlanmasıyla büyük ölçüde proje şirketinin, ilgili hükümet kuruluşunun ve borç veren kuruluşun farklı finansal çıkarları tatmin edilir. Dolayısıyla bu bakış açısı proje şirketinin ihale hedeflerine ulaşmasını tanımlar. Bu çalışmada, bundan böyle bu üç önemli unsura, imtiyazlı öğeler olarak başvurulacaktır. Hükümet kuruluşu için imtiyazlı öğelerin çekici birleşimi, düşük taban fiyat değeri veya düşük imtiyaz süresi değeridir. Fakat bu şirketin kârlılığını azaltır. Buna karşın, şirketin daha yüksek kâr kazancı için imtiyazlı öğelerin aşırı yüksek değerlerini göz önünde bulundurması, proje şirketinin YİD projesini kazanma şansının zayıflamasına sebep olacaktır. Bu durum borç veren kuruluşun şartları için de geçerlidir. Örneğin, proje

---

<sup>10</sup> M. Ranasinghe (1999). Private sector participation in infrastructure projects: A methodology to analyse viability of BOT. *Construction Management and Economics*, 17(5), s. 613-623

şirketi borç servis kapasitesini artırmak için daha yüksek fiyatı tercih edebilmesine rağmen, bu hükümet tarafından kabul edilmeyebilir. Şirket açısından optimallik, önemli finansal faktörlerin uygun değerlerinin doğru kombinasyonundaki seçimler arasında bulunmaktadır. YİD ihalesini kazanmak isteyen proje şirketi, projenin finansal değerlendirmesini yaparken, nakit akışlarını değiştiren imtiyaz süresi, özsermaye oranı ve başlangıç ücreti/tarifesi değişkenlerinin optimal değerlerini aramalıdır.

YİD projelerindeki belirsizliklerden dolayı bu finansal değişkenlerin optimal değerlerini saptamak daha da zorlaşmaktadır. Bir YİD planının genel finansal sonuçlarını (kârlılık da dâhil) etkileyen kimi belirsizlikler arasında; maliyet tahminleri, talep öngörümü ve ıskonto oranı çeşitlilikleri sayılabilir. YİD projelerinin ihale sürecinde bu gibi belirsizlikler tartışılır. Tutarsız bir durum genellikle ihale aşamasında yukarıda belirtilen tahmini belirsiz yatırım unsurlarından meydana gelir.

Üç imtiyazlı ögenin YİD projesinin nakit akışları üzerindeki kombine etkisini açıkça araştırmak gerekmektedir ve bu nedenle YİD yatırım fırsatının finansal sonuçlarının değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada proje şirketi ve proje şirketinin farklı ihale hedefleri ele alınarak bütün bu kritik sorunlara ve çelişen finansal çıkarılara yönelik bazı yenilikçi finansal modeller aranmaktadır.

## 1.2. Amaç

Bu çalışmanın öncelikli odak noktası; bir YİD yatırım projesinin fizibilite çalışmasının tamamlanmasının ardından gerçekleşen YİD proje değerlendirme aşamasında karar alıcılar için kesin bir kâr marjı altında, tüm gerekli finansal kısıtlamaları karşılayan ve kritik finansal faktörlerin optimum bileşimini belirleyen finansal optimizasyon modelleri geliştirmektir ve kurulan modelleri Evrimsel Algoritma yardımıyla çözmektir. Böylelikle finansal karar verme sürecine daha etkin ve verimli bir destek sağlamaktır.

Bu kapsamda, çalışmada şu alt amaçlara ulaşılmaya çalışılacaktır;

1) YİD projelerinin temellerini anlamak ve belirsizlik altındaki YİD projelerindeki belirsizliklerin kaynaklarını ve belirsizlikle mücadelede izlenecek stratejileri belirlemek,

- 2) Yatırım proje değerlendirme yöntemleri, belirsizlik altında karar verme yöntemleri, mevcut finansal modeller ve optimizasyon yöntemleri gibi ilgi konuların eleştirisini yüklenmek,
- 3) Optimizasyon modellerinin gelişimini iletirmek için en iyi yöntemlerin teorik temellerini tespit etmek,
- 4) Bir YİD projesinin belirsizlik altında finansal yapılabirliğini incelemek,
- 5) Bir YİD projesi teklifinin ihaleyi kazanma olasılığını üst düzeye çıkarmayı amaçlayan imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini belirlemek için tek hedefli optimizasyon modelini geliştirmek,
  - Sermaye sahiplerinin yatırımının geri dönüşünü maksimize eden optimal borç-özsermaye oranını belirlemek,
  - Projenin kazanma potansiyelini maksimize edecek imtiyaz süresi uzunluğunu belirlemek,
  - Projenin ihaleyi kazanma potansiyelini maksimize edecek optimal birim taban ücret/tarife fiyatı belirlemektir.
- 6) Bir YİD projesinin borç bulma potansiyelini üst düzeye çıkarmayı amaçlayan imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini belirlemek için tek hedefli optimizasyon modelini geliştirmek,
  - Borç bulma potansiyelini maksimize eden optimal borç-özsermaye oranını belirlemek,
  - Borç bulma potansiyelini maksimize edecek imtiyaz süresinin uzunluğunu belirlemek,
  - Birim ücret/tarife fiyatı belirlemektir.
- 7) Bir YİD projesinin kazanma olasılığını ve borç bulma potansiyelini eş zamanlı üst düzeye çıkarmayı amaçlayan imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini belirlemek için çok hedefli optimizasyon modelini geliştirmek,
  - İhale kazanma ve borç bulma potansiyelini birlikte maksimize eden optimal borç-özsermaye oranını belirlemek,
  - İhale kazanma ve borç bulma potansiyelini maksimize edecek optimal imtiyaz süresi uzunluğunu belirlemek,
  - Birim ücret/tarife fiyatı belirlemektir.

Bu kapsamda çalışmada aşağıdaki soruların cevaplanmasına çalışılacaktır.

- Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin üstün ve zayıflıkları nelerdir?
- Optimizasyon yöntemleri nelerdir? Sezgisel algoritmalar nelerdir ve kendi içlerinde nasıl karşılaştırılır?
- EA proje değerlendirmede niçin ve nasıl kullanılır?
- EA nasıl çalışır ve parametre seçimi nasıldır?
- Özel finanse edilen bir alt yapı projesinin finansal sürdürülebilirliği, evrimsel algoritmaların kullanıldığı bir yöntem geliştirerek nasıl analiz edilir?

### 1.3. Önem

Dünyada ve ülkemizde YİD modeli yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Çok büyük tutarlardaki bu yatırımların başarılı olabilmesi için modern yöntemlerle analiz edilmeleri gerekmektedir.

Evrimsel algoritmaların, yatırım projelerinin değerlendirilmesi sürecini etkin ve verimli bir yolla geliştiren bir yöntem olduğunu ve yatırım proje değerlendirmede uygulanabilecek bir metodoloji oluşturacağı umulmaktadır.

Türkiye'deki büyük bir yatırım projesi finansal açıdan değerlendirilecektir ve YİD modeli kapsamında projenin ihaleyi kazanma potansiyeli incelenecektir.

### 1.4. Varsayımlar

Bu çalışmada aşağıdaki varsayımlardan hareket edilecektir.

- İndirgenmiş nakit akışı yöntemi en iyi proje değerlendirme kriteridir.
- Özsermaye oranı yatırımın kazanma potansiyelini önemli ölçüde etkileyen bir değişkendir. YİD modelinde imtiyaz süresi ve fiyat değişkenleri önemli karar değişkenleridir.
- Evrimsel algoritmalar, modern ve etkili bir optimizasyon yöntemidir.
- Bilimsel yöntem tüm bilim dalları için geçerli bir problem çözme yaklaşımı olup yatırım projelerinin değerlendirilmesinde evrimsel algoritmaların kullanılması proje değerlendirme sürecinin etkinliğinin ve verimliliğinin artırılmasında uygun bir başlangıç noktası olacaktır.

- Bu araştırmada ele alınan değişkenler ve ilişkiler dışında kontrol altına alınamayan değişkenlerin etkisi söz konusudur. Ancak ele alınan değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılmak istenen alanı yansıttığı varsayılmıştır.
- Bu araştırmada kullanılan veri toplama araçlarının ölçülmek istenilen özellikleri doğru olarak ölçtüğü varsayılmıştır.

### 1.5. Sınırlılıklar

Bu çalışmanın kapsamı ihale aşamasındaki YİD projelerinin finansal modeli ile sınırlıdır. YİD projesine taraf olan ana ortaklar; sponsorlar, borç veren kuruluş ve ilgili hükümet kuruluşudur. YİD projesi ihalesinin kazanılması için kritik sözleşme unsurları; projenin borç/özsermaye oranı seviyesi, YİD tesisinden elde edilecek ürünün/hizmetin taban/birim ücret/fiyatı ve imtiyaz süresidir. YİD proje ihaleleriyle ilgili finansal olmayan faktörler gibi farklı konular modellere dâhil edilmemiştir.

### 1.6. Tanımlar

Yap İşlet Devret modeli  
Proje değerlendirme  
Karar verme  
Optimizasyon  
Evrimsel Algoritma  
Diferansiyel Evrim (DE)

### 1.7. Tez Organizasyonu

Tez sekiz bölümden oluşmaktadır. Araştırma problemi ve araştırma hedeflerini kapsayan giriş bölümü, birinci bölümde ele alınmıştır. İzleyen ikinci bölümde, YİD projelerinin temelleri sunulmuştur. İkinci bölümde ayrıca YİD projesi tarafları ve onların sözleşmeye dayalı ilişkilerine, YİD proje finansman mekanizmasına ve YİD proje yapısındaki belirsizliklere değinilmektedir. İzleyen kesimde ise ilerleyen bölümlerde geliştirilecek model için gerekli temel varsayımlar ele alınmıştır.

Araştırmayla ilgili literatür üçüncü bölümde geniş biçimde incelenmektedir. Öncelikle deterministik yatırım ortamında YİD yatırım projesinin değerlendirilmesinde kullanılan değişik yatırım değerlendirme yöntemlerinin tartışması yapılmıştır. Bunu

belirsizliklerin varlığında kullanılabilir yatırım değerlendirme yöntemlerinin sunulması izlemiştir. Daha sonra çeşitli optimizasyon yöntemleri incelenmiştir. Son olarak, proje şirketinin ihale hedeflerinin optimizasyonu için çeşitli optimizasyon yöntemlerinin arasından en uygun yöntem belirlenmiştir.

Optimizasyon problemlerinin çözümü için indirgenmiş nakit akışı analizinin ve evrimsel algoritmaların temelleri çalışmanın dördüncü bölümünde tanımlanmaktadır. Bu bölümde ilk olarak YİD projelerinde indirgenmiş nakit akış analizine dayalı finansal modelin gelişimine odaklanılmıştır. İzleyen kesimde optimizasyon görevlerinin performansı için temel araç olan mantıksal temeller ve evrimsel algoritmaların çalışma mekanizmaları açıklanmıştır. Çok amaçlı ayrıştırmaya dayalı Diferansiyel Evrim algoritmasının yapısı incelenmiş ve simülasyonla ilgili kısa bir literatürle bölüm sonlanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde proje şirketinin, ilgili hükümet kuruluşunun ve borç veren kuruluşun çelişen finansal çıkarlarını göz önüne alarak proje şirketinin ihale kazanma olasılığını azami hale getirmek için tek amaçlı optimizasyon problemi ortaya konmaktadır. Daha sonra YİD projelerinin önerilen optimizasyon modeli kapsamında, kararlı-deterministik yatırım ortamındaki çözümü için çözüm yöntemi sunulmuştur. Bu bölümde sayısal örnekler üzerinde tek amaçlı optimizasyon problemi çözüm yönteminin özellikleri gösterilmiştir. Son olarak belirsizlik altında projenin yapılabirliği simülasyon yöntemiyle incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde proje şirketinin ve borç veren kuruluşun çelişen finansal çıkarlarını göz önüne alarak proje şirketinin borç bulma olasılığını azami hale getirmek için tek amaçlı optimizasyon problemi sunulmuştur. Daha sonra YİD projesinin önerilen optimizasyon modeli kapsamında, kararlı yatırım ortamındaki problemin çözümü için çözüm yöntemi sunulmuştur. Son olarak sayısal örnekler üzerinde bu çözüm yönteminin özellikleri gösterilmiştir.

Çalışmanın yedinci bölümünde proje şirketinin YİD ihalesini kazanma olasılığını azami hale getirmek ve proje şirketinin borç bulma olasılığını azami hale getirmek için çok amaçlı optimizasyon problemi sunulmuştur. YİD projesinin önerilen çok amaçlı optimizasyon modeli kapsamında, kararlı yatırım ortamındaki çözümü için yöntem sunulmuştur. Sayısal örnek sayesinde bu çözüm yönteminin özellikleri gösterilmiştir.

Sekizinci bölümde öncelikle çalışmanın amaçları özetlenmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda neler yapıldığı belirtilerek çalışmanın sonuçları özetlenmiştir. Daha sonra çalışmanın literatüre ve özel sektör şirketlerine katkılarından söz edilmiştir. Son olarak gelecekteki araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Yap İşlet Devret Modeli

Bu bölümde YİD modelinin temelleri sunulmuştur. Proje finansmanı olarak YİD modeli, YİD projesinin tarafları, tarafların sözleşmeye dayalı ilişkileri açıklanmıştır. YİD projelerindeki belirsizliklerin kaynakları belirlenerek bu belirsizlikle ve riskle mücadele edebilmek için çeşitli stratejilere değinilmiştir. Son olarak sonraki bölümlerde geliştirilecek model için gerekli temel varsayımlar ele alınmıştır.

### 2.1. Kamu-Özel İşbirliği Altyapı Projeleri ve YİD

Altyapı, kamuya ait bir yerleşim yeri veya bir yapı için gerekli olan yol, kanalizasyon, su, elektrik, köprüler, limanlar vb. tesisatın tümü anlamına gelir<sup>11</sup>. Altyapının inşası herhangi bir ülkenin gelişmesi için zorunludur. Altyapı inşası ekonomik büyümeyi arttırmaya ve sürdürmeye yardımcı olur.

Türkiye'nin de içinde yer aldığı gelişmekte olan ülkelerin temel hedefi olan sanayileşmenin gerçekleştirilmesi, altyapı yatırımlarının çok büyük boyutlara ulaşan finansman ihtiyacının yeterli ölçüde ve sağlıklı bir biçimde karşılanabilmesine bağlıdır. Ekonomik büyümeye paralel olarak ihtiyaç duyulan kamu altyapı yatırım projelerinin kısıtlı bütçe olanakları ile zamanında gerçekleştirilememesi gelişmekte olan ülkelerde Kamu Özel Sektör İşbirliği (KÖİ) modelinin kullanımını gündeme getirmiştir.

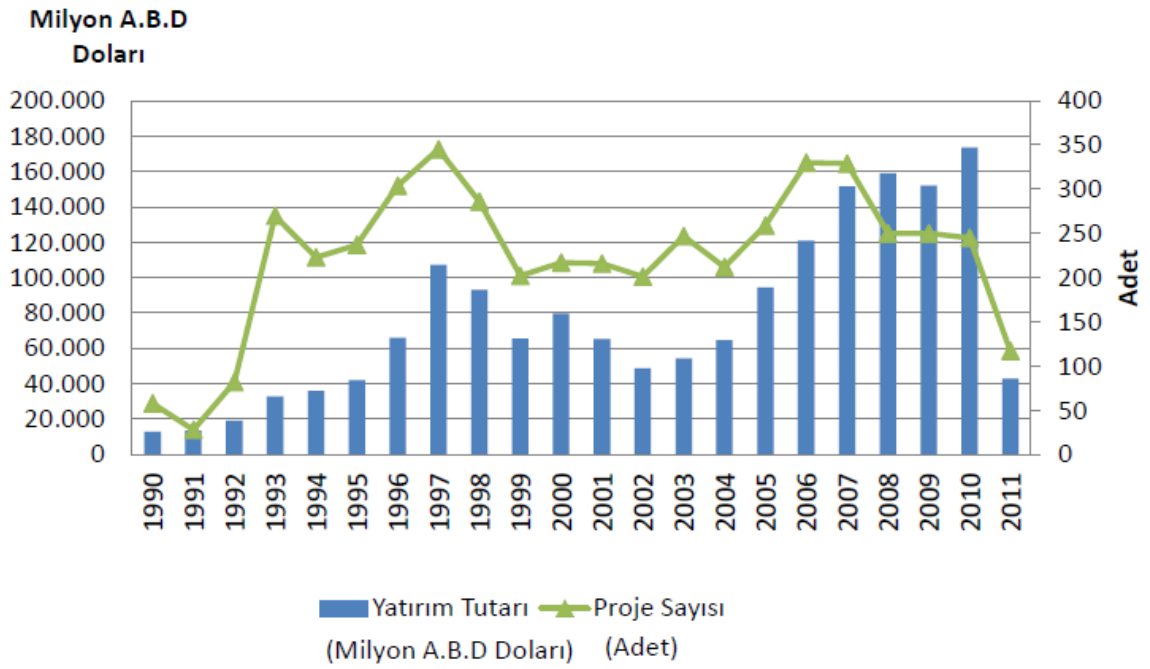
KÖİ modelinde temel amaç projenin finansmanının ve yapımının özel sektör marifetiyle gerçekleştirilmesidir. Böylece, kamu bütçesine projeye ilişkin bir yük gelmeyecek ve kısıtlı kamu kaynaklarının başka alanlarda kullanılması imkânı doğacaktır.

KÖİ modellerinin uygulanmasına ilk olarak İngiltere'de "Özel Sektör Finansman Girişimi" (PFI-Private Finance Initiative) adı altında 1992 yılında başlanmıştır. İngiltere'de modelin başarılı uygulamalarını müteakip birçok ülke bu modeli uygulamak için harekete geçmişlerdir. 1999 yılında dünyada KÖİ (Public Private Partnerships ,PPP) uygulamaları konusunda çalışma yapan ülkelerin sayısı 10 civarında iken 2008 yılında bu sayı 100'ün üzerine çıkmıştır<sup>12</sup>. Bu da önümüzdeki en az 10 yıllık süreçte bu tür uygulamaların hızla artacağını göstermektedir.

<sup>11</sup> <http://tdkterim.gov.tr/bts/> (Erişim tarihi: 24.06.2011)

<sup>12</sup> G.A, Tekin (2008). *Kamu Özel İşbirlikleri/Ortaklıkları PPP Modelleri*. <http://www.oib.gov.tr/baskanlik/aligunertekin.pdf> (Erişim tarihi: 03.06.2011)

Son yıllarda hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmesinde KÖİ projeleri önemli bir işlev görmektedir. Dünya Bankası verilerine göre gelişmekte olan ülkelerde KÖİ projelerinin sözleşme tutarı 1990'lı yıllarda giderek artmış ve 1997 yılında en yüksek seviyesine (107 milyar ABD Doları) ulaşmıştır. 2002 yılında yıllık tutar 48,7 milyar ABD Dolarına düştükten sonra tekrar yükselişe geçmiş ve 2010 yılında rekor seviyeye (173,6 milyar ABD Doları) ulaşmıştır<sup>13</sup>. Aşağıdaki Şekil 1'de, 1990-2011 döneminde gelişmekte olan ülkelerde, 2011 yılı ilk çeyreği sonu itibarıyla KÖİ modeliyle gerçekleşen projelerin sayıları ve tutarları gösterilmiştir.



Şekil 1. Gelişmekte Olan Ülkelerde KÖİ Pazarının Yıllara Göre Dağılımı (1990-2011)

**Kaynak:** Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, 2012: 8.

PPP uygulamaları projelerin niteliğine, kamu ve özel sektörün projeye katılım derecelerine göre ve taraflar arasındaki farklı risk dağılımına bağlı olarak çok çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. KÖİ projeleri için proje teslim modellerinin başlıca örnekleri şunlardır; Yap-İşlet-Devret (YİD), Yap-İşlet (Yİ), İşletme Hakkı Devri (İHD), Yap-Kirala-Devret (YKD) ve Yap-Kirala (YK), Yönetim Anlaşmaları, Yap Kirala İşlet

<sup>13</sup> Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü (2012). *Dünyada ve Türkiye'de Kamu-Özel İşbirliği uygulamalarına ilişkin gelişmeler*. Ankara: Kalkınma Bakanlığı, s.8.

Devret, Tasarla Yap Finance Et İşlet, Ortak Girişimler, Kısmi Özelleştirme, Tasarla Yap olarak sayılabilir.

Yabancı literatürde ise; Yap İşlet Sahibi Ol (Build-Own-Operate (BOO)), Yap Sahip Ol, İşlet, Devret (Build-Own-Operate-Transfer (BOOT)), Yap İşlet Devret (Build-Operate-Transfer (BOT)), Yap Devret İşlet (Build-Transfer-Operate (BTO)), Tasarla Yap Finans Et İşlet (Design-Build-Finance-Operate (DBFO)), Tasarla Yap İşlet Elinde Tut (Design-Build-Operate-Maintain (DBOM)) ve Tasarla İnşa Et Yönet Finance Et (Design-Construct-Manage-Finance (DCMF))<sup>14</sup>.

Proje modelleri içindeki bu çeşitlilik genellikle bir KÖİ projesinin mülkiyet yapısıyla ve hukuk ve yükümlülük kullanımı gibi diğer proje ayırt edici özellikleriyle dengelenmiştir<sup>15</sup>. Belirli bir proje modelinin seçimi büyük ölçüde hükümetin tercihlerine bağlıdır. Bununla birlikte, Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü'nün (2012) yaptığı çalışmaya göre, ülkemizde hayata geçirilen KÖİ modelli proje sayısı toplamda 111'dir. Bu projelerin 71'i YİD, 5'i Yİ ve 35'i İHD ile olmaktadır. Yapımına devam edilen toplam 23 projenin ise 12'si YİD, 1'i YKD ve 10'u ise İHD modelidir<sup>16</sup>. Hükümetlerin çoğunlukla seçtiği Yap İşlet Devret (YİD) proje modelinin ülkemizde de yaygın olarak kullanılan bir seçenek olması sebebiyle çalışmada YİD modeli incelenecektir.

YİD modeli, 3996 sayılı Kanun'un 3/a maddesinde şöyle tanımlanmaktadır: "İleri teknoloji ve yüksek maddi kaynak ihtiyacı duyulan projelerin gerçekleştirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen özel bir finansman modeli olup, yatırım bedelinin (elde edilecek kâr dâhil) şirkete, şirketin işletme süresi içerisinde ürettiği mal veya hizmetin idare veya hizmetten yararlananlarca satın alınması suretiyle ödenmesidir"<sup>17</sup>.

Geniş anlamda YİD modeli, bir kamusal yapı yatırım veya hizmetinin finansmanının özel bir şirket tarafından karşılanarak gerçekleştirilmesi ve kamu tarafından belirlenen bir süre için işletilmesi ve yine bu süre içinde ürettiği mal veya hizmeti, tarafların karşılıklı saptadıkları bir tarife uyarınca kamu kuruluşlarına satması

<sup>14</sup> P. Pakkala (2002). *Innonative Project delivery methods for infrastructure: an international perspective*, Finnish Road Enterprise, Helsinki; A. K. McCovan (2004). *Decision Support System for the evaluation and comparison of concession project investments*. Ph.D. Thesis. Australia: Griffith University'den aktaran M, Islam (2008), s. 3.

<sup>15</sup> M.M. Kumaraswamy ve Q.X. Zhang (2001). Governmental role in BOT led-infrastructure devolopment. *International Journal of Project Management*, 19(4), 195-205.

<sup>16</sup> Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü (2012), s. 21.

<sup>17</sup> Resmi Gazete 13.06.1994. Sayı: 21959. *Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap-İşlet-Devret Modeli Çerçevesinde Yaptırılması Hakkında Kanun*. KanunTertip: 5. <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/>

ve sürenin sonunda işletmekte olduğu tesisleri bakımı yapılmış, eksiksiz ve işler durumda ilgili kamu kuruluşuna devretmesi diye tanımlanabilir<sup>18</sup>. Yine yapılan sözleşmelerden yola çıkılarak yapılan bir başka tanıma göre; YİD modeli bir kamu hizmet ya da faaliyeti ya da bayındırlık işinin sabit bir bedel üzerinden, tüm masrafları özel teşebbüs tarafından karşılanarak, yatırım yapıp ülkenin üretilen mal ya da hizmetleri satın alma garantisi altında projelendirilmesi, finanse edilmesi, inşa edilmesi, korunması ve belli bir süre işletilmesi suretiyle yatırılan sermayenin amortisman ve kârının gerçekleştirilmesinden sonra sürenin bitiminde tesisin ve yönetimi bedelsiz olarak ilgili kamu kurum ya da kuruluşu devir ve teslimini sağlayan bir rejimdir, denilmektedir<sup>19</sup>.

YİD modelinin amaçları ve devletin çıkarları aşağıdaki biçimde özetlenebilir;

- kamunun altyapı projelerindeki finansal yükünü azaltmak, denk bütçe kavramına olumlu katkıda bulunmak ve kamu verimliliğini arttırmak,
- söz konusu yatırım alanlarında muhtemel dış borçlanma ihtiyacını ortadan kaldırarak ülkenin dış borç yükünü arttırmamak, dış ödemeler dengesine olumlu katkıda bulunmak, Türkiye'nin borçlanma kabiliyetini ve kredibilitesini geliştirmek,
- ülkeye, proje konularında dış finansal kaynak, ileri teknoloji, bilgi ve tecrübe birikimi kazandırmak, yeni katma değerler üreterek gayri safi milli hasılayı artırmak ve yeni vergi matrahları oluşturarak kamu maliyesine katkıda bulunmak,
- yatırım harcamalarının ve bütçe açığının etkilediği enflasyon artışını engellemek,
- kamu sektörüne kârlı ve verimli özel sektör işletmeciliği konularında özellikle işbirliği ve ortak girişimler sonucunda yönetim etkinliği, sorumluluk, zamanlama, toplam kalite anlayışı ve standartlaşma özellikleri kazandırmak,
- YİD modeli ile mahalli idare yatırımlarında devlet payını daraltarak devletin borçlanmasını azaltmak,
- YİD modelini bir özelleştirme modeli gibi düşünerek, özelleştirmeye olumlu katkıda bulunmak,

<sup>18</sup> E. İmre (2001). *Türkiye'de Yap-İşlet-Devret Modeli; yasal çarısı, uygulaması*. Yüksek Denetleme Kurulu, s. 34.

<sup>19</sup> O. Uğur (1993). *Yap-İşlet-Devret girişim modelinin hukuksal yönü ve ekonomik ve mali etkileri*. 1993 Yılı Hesap Uzmanları Kurulu Konferansları IV, Ankara: Maliye Bakanlığı Yayınları, s. 245.

- yeni girişim ve kârlılık alanları sağlayarak iş ve istihdam konularında yeni alanlar açmaktır<sup>20</sup>.

Proje şirketinin çıkarları ise;

- markalaşmak ve itibarını yükseltmek,
- iş hacminin artışı ve sürekliliğinin sağlanması,
- uygun kâr seviyesi kazanma olasılığı içermesi,
- anlaşmanın yüksek maliyetli ve itibarlı olması,
- uzun dönem kâr beklentisidir.

YİD planlarının geçmişi 17. yy başlangıcına dayanır. İlk YİD projesi, 1854 yılında başlayan ve 1868 yılında tamamlanan, Süveyş Kanalı'nın inşaatıdır<sup>21</sup>. YİD planlarının dünya çapında hızla genişlemesi 1980'lerden sonra meydana gelmiştir. YİD tipi projelerin bazı örnekleri şunlardır; Amerika'daki Dulles Greenway, Endonezya'daki Paiton I güç santrali, Hong Kong'daki Cross-Harbour tüneli, Çin'deki Shajiao B güç istasyonu, Hindistan'daki Dabhol güç projesi, Malezya'daki ulusal kanalizasyon projesidir<sup>22</sup>. Yine, yeni tamamlanan Fransa'daki 5,4 Milyar € büyüklüğündeki Tours-Bordeaux yüksek hızlı tren hattı projesi ve diğer hepsi özel finans kullanarak düzenlenmiştir ve bu yüzden YİD projeleridir.

PPP (KÖİ) yöntemi ile altyapı yatırımlarının yolunu başta İngiltere olmak üzere gelişmiş ülkeler yapsa da özellikle son 10 yılda Afrika'dan Asya'ya pek çok farklı ülkede başarılı uygulamalar yapıldığını gözlemlemekteyiz. Örneğin Amerika'da devlet okullarının bir kısmı bu anlayışla özel sektöre devredilerek eğitim kalitesinde ciddi artış sağlanabilmiştir<sup>23</sup>. Bugün dünyada eğitimden sağlığa, enerjiden otoyola, su artıma sistemlerinden limanlara varıncaya kadar pek çok projede PPP finansman şeklinin sıklıkla kullanıldığına şahit olmaktadır.

YİD modeli ülkemizde 1980'lerden sonra gelişmiştir. Ülkemizde bu model ilk defa 1984 yılında Mersin yakınlarındaki Akkuyu Nükleer Güç Santrallerinin inşası amacı ile teklif edilmiş, ikinci olarak da 1985 yılında ikinci boğaz köprüsünün yapımı

---

<sup>20</sup> M. Yüzer (2007). *Enerji sektöründe yap işlet devret modelinin diğer finans modelleri ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, s.30.

<sup>21</sup> Islam (2008), s. 3

<sup>22</sup> Islam (2008), s. 4

<sup>23</sup> F. Kuran (2012). *Türkiye'de proje finansmanının gelişimi ve PPP*

<http://www.dinamo.co/default.aspx?pid=53502&nid=64326> (Erişim Tarihi: 07.09.2011)

ile gündeme gelmiş ve fakat her iki projenin gerçekleştirilmesinde de YİD modeli uygulanamamıştır<sup>24</sup>.

Türkiye’de son 10 yılda giderek artan enerji yatırımları da bu kapsamda gerçekleştirilmektedir. Özellikle son döneme yenilenebilir enerji yatırımları damgasını vurmaktadır. Enerji yatırımlarının yanı sıra özellikle otoyolların yapılmasında da YİD modeli kullanılmaktadır. YİD projelerine örnek olarak yaklaşık 6 milyar \$ civarında maliyeti olması beklenen İstanbul-İzmir otoyol projesi ve üçüncü boğaz köprüsü projesi bu yöntem ile gerçekleştirilecektir. Alışveriş merkezleri başta olmak üzere gayri menkul yatırımları da bu yönde giderek artan talebe istinaden proje finansmanın sıklıkla uygulandığı alanlar arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

YİD projeleri çeşitli katılımcıların farklı amaçlarından ortaya çıkan çok karmaşık teknik, finansal, siyasi ve yasal öğeleri olan bir süreçtir. Bu bağlamda, YİD projelerinin başarısı için birçok konu üzerine odaklanılmalıdır. Bu önemli konulardan biri böyle ortaklıkları sağlama problemidir. YİD projelerinin başarısı büyük ölçüde etkili ihale mekanizmaları tasarlamaya bağlıdır.

## 2.2. Proje Finansmanı Olarak YİD Modeli

YİD modeli finansal ittifakların özel bir şeklidir, geleneksel varlığa dayalı finansman yöntemi değildir. Çoğunlukla YİD sözleşmeleri finanslama yöntemlerinin özel bir biçimi olarak bilinen proje finansmanı yöntemine göre gerçekleştirilir. Proje finansmanı, projelerinin gerçekleştirilmesini sağlayacak sermayenin temininde kabul edilen bir yöntemdir.

Proje finansmanı kavramı alt yapı projelerinin finansmanı ile ilgili olup, projeye destek sağlayanların (sponsorların) sorumluluklarının, sağladıkları bu destekle sınırlı olduğu ya da sahip olunan diğer varlıkların projeden doğan yükümlülüklerle karşı bir güvence oluşturmadığı finansal yapıları ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Proje finansmanında; alınan kredilerin, projeye finansal destek sağlayanların kredi değerliliğine ve/veya sahip olunan fiziksel varlıkların değerine bağlı olmayıp, projenin kendi performansına bağlı olmasıdır. Böylece projenin finansmanında kullanılan

---

<sup>24</sup> V. Polatkan (2000). *Yap İşlet Devret modeli ile ulusal ve uluslararası tahkim*. Ankara, s. 19

kredilerin geri ödenmesine kaynak olarak, projenin nakit akışları ve gelecekte yaratacağı kazançlar borç veren kuruluşlar açısından önem taşımaktadır<sup>25</sup>.

Bir başka görüşe göre proje finansmanı “projenin nakit akışları üzerine girişim tabanlı bir fon sağlama yöntemi” olarak tanımlanmakta ve bu modelin geleneksel kaynaklardan fon sağlanmasının mümkün olmadığı, büyük sermaye gerektiren ve karmaşık riskler içeren projeler için uygun olduğu belirtilmektedir<sup>26</sup>.

Proje finansmanının geleneksel varlığa dayalı finansmandan kritik olarak nitelendirebileceğimiz belirleyici farkı, bu finansman biçimine konu olan projenin ayrı bir tüzel kişilik olarak ortaya çıkmasıdır. Projenin sahip olduğu varlıklar, projeye ilgili olarak yapılan sözleşmeler, projenin nakit akışları ve projenin yükümlülükleri projeyi destekleyenlerden ayrılmış durumdadır<sup>27</sup>. Diğer bir anlatımla, proje sponsorlarının projeye koydukları varlıklar alınmış krediler için bir güvence niteliğindedir, diğer sahip oldukları varlıklar proje kredilerine bir güvence oluşturmaz<sup>28</sup>.

### 2.3. YİD Projesi Tarafları

YİD modeli tanımından da anlaşılacağı üzere; kamu altyapı yatırımlarının yüksek finansman yükünden kurtulmak için hükümetlerin izlediği bir finansman modelidir. Proje yatırım maliyetleri proje şirketi tarafından karşılanarak altyapının inşası ve işletilmesi sağlanır. Bunun karşılığında proje şirketi imtiyaz süresi boyunca bu yatırımdan elde ettiği gelirlerle başlangıç yatırım maliyetini ve işletme maliyetlerini karşılamak ve kâr elde etmek durumundadır. Büyük ölçekli yatırım olması sebebiyle proje şirketi, yatırım için sponsorlardan ve kredi kuruluşlarından borç bulmak zorundadır.

YİD modeliyle yatırım projelerinin gerçekleştirilmesinde birçok taraf vardır. Tipik bir YİD projesine taraf olan kuruluşlar; projenin sahibi konumunda olan hükümet kuruluşu, borç veren kuruluş, projeyi gerçekleştirecek olan proje şirketi(ortak girişim şirketi), sigorta kuruluşları, teknik, finansal ve hukuki danışmanlar ve sponsor

<sup>25</sup> L.H.P Lang (1998). *Project finance in Asia*. Amsterdam: Elsevier Science B.V , s. 11.

<sup>26</sup> R. C. Beidleman; D. Fletcher ve D. Veshosdy (1990). On allocating risk: The essence of project finance. *Sloan Management Review*, Spring ,31, s.4755.

<sup>27</sup> M. Başer (2000). *Proje finansmanında bir araç olarak Yid modeli ve İzmit Büyükşehir Belediyesi su temin projesinde modelin uygulanışı*. Eskişehir: Doktora Tezi, s.17.

<sup>28</sup> J. D. Finnerty (1996). *Project Financing: Asset Based Financial Engineering*. Canada: John Wiley&Sons Inc., s.2.

şirketlerdir. Bu bağlamda YİD projelerinin önde gelen 3 katılımcısı ilgili hükümet kuruluşu, proje şirketi katılımcıları (sponsorlar), borç veren kredi kuruluşu olmaktadır.

Hükümet kuruluşu; projenin sorumlusu olan kuruluşu, ilgili hükümet kuruluşunu (idare), YİD projelerini belirleyen ve başlatan kurumu, proje şirketi ile imtiyaz sözleşmesini imzalayan kurumu ifade etmektedir. Hükümet kuruluşu yasal ve idari onaylarıyla sponsorlara YİD projesi teklifi sunar.

Sponsorlar; genellikle belirlenmiş bir süre içinde YİD projesinin finansının, dizaynının, inşasının, işletmesinin ve bakımının sorumluluğunu üstlenen özel sektör kuruluşlardır. Sponsorlar girişimleri finanse eden veya geliştiren ve kendi yatırımlarıyla projeye öncülük eden özel sektör şirketleridir. Sponsorlar, yüksek mühendislik ve inşaat şirketleri, donanım sağlayıcıları, işletici ve bakım şirketlerinden oluşabilir. Sponsor şirketler, faaliyet konusuyla ilgili YİD yatırım projesini gerçekleştirmek için kendi şirketlerinden tamamen ayrı yeni bir şirket (ortak girişim şirketi veya proje şirketi ile adlandırılan) kurarlar. Proje şirketi, ülke kanunlarına göre kurulan ve yatırımı gerçekleştiren şirketlerin imtiyaz sözleşmesi gereği kurdukları şirketi ifade etmektedir. Bir YİD projesinin tasarlanması, finanse edilmesi ve çalıştırılması sponsorların yükümlülüğündedir ve proje şirketi bu yükümlülükleri yerine getirir. Sponsorlar proje şirketi ile hissedar sözleşmesi yaparlar. Hissedar sözleşmesi bir YİD projesindeki sponsorların mülkiyetlerini belirler. Hissedar sözleşmesi aynı zamanda, sponsorların öz sermaye katkılarına dayanarak aralarındaki kâr paylaşımının koşulunu belirler. Proje şirketine istendiği takdirde kamu da sınırlı bir sermaye payı ile ortak olabilmektedir.

YİD modelinde kamu kesimine taraf olan asıl kuruluş proje şirketi olmakla birlikte; bu şirketler aracılığı ile taraf olan diğer şirket ve kuruluşlar da vardır. Bunlar; proje şirketi sahibi ana şirketler, konsorsiyum bankaları ve bunların ajanları yed-i emin (escrow account) bankası, sigorta şirketleri, taşeron şirketler, yerli ve yabancı danışmanlık şirketleri ile hukuk müşavirlikleridir<sup>29</sup>.

Borç veren kuruluş, finansal kredi kuruluşudur ve sponsorlara borç para sağlar. Borç veren özel sektör kuruluşlarının bir kaç örneği, ticari bankalar, kurumsal yatırımcılar ve leasing şirketleridir. Buna ek olarak, Asya Geliştirme Bankası, Dünya Bankası ve Uluslararası Para Fonu gibi değişik çok taraflı kurumlar ara sıra borç veren kurumlar olabilirler. YİD projesinin finansmanın sağlanmasıyla ilgili bir veya daha çok

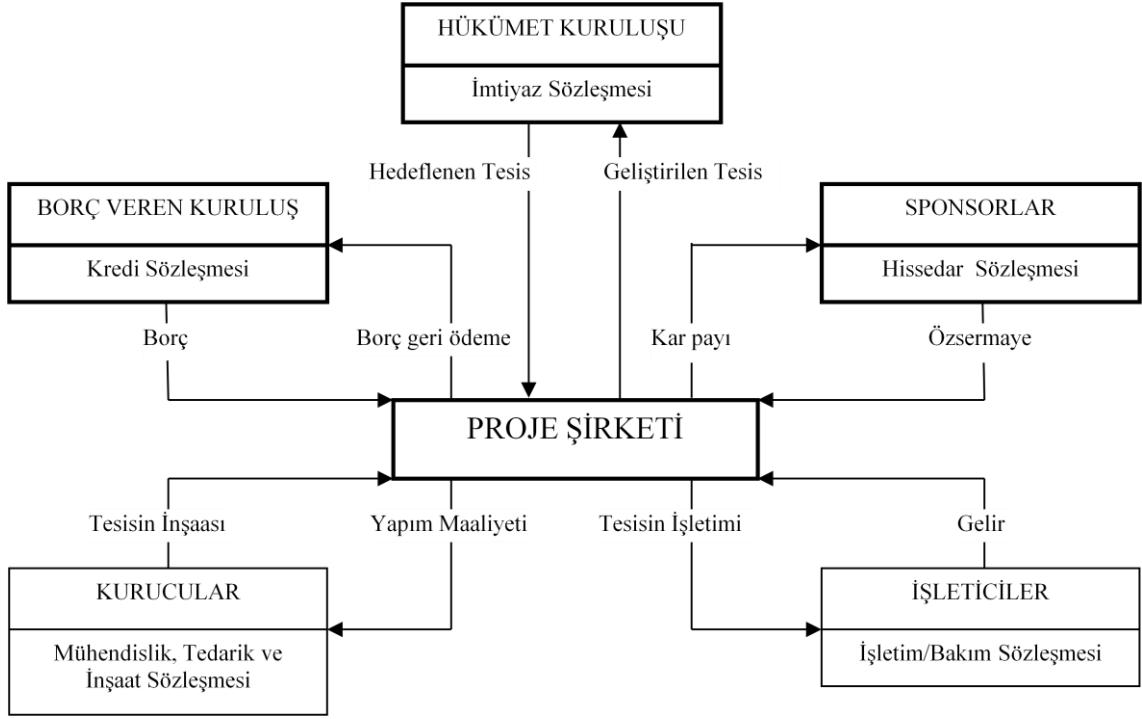
<sup>29</sup> T. Derdiyok (1993). Yap- İşlet-Devret Modeli. *Yaklaşım Dergisi*, Yıl 1, Sayı.9, s.97.

borç veren kuruluşlar olabilir. Borç veren kuruluş, kredi sözleşmesi vasıtasıyla proje şirketini finanse eder. Kredi sözleşmeleriyle; çeşitli finansal özellikleri içeren borç miktarı, borç geri ödeme oranı, borç geri ödeme programı ve borç indirgeme planı belirlenir.

Yukarıdakilere ek olarak, YİD projelerindeki diğer katılımcılar, kurucu ve işletici şirketlerdir. Kurucu ve işletici şirketler de özel sektör kuruluşlarıdır, ayrıca;

- Kurucular YİD tesisini inşa ederler. Kurucular mühendislik inşaat şirketleridir. Bir inşaat şirketi ya sponsorlarla ortak olabilir ya da sponsorlardan bir kuruluş ile ayrı olabilir. Bir veya daha fazla inşaat şirketi YİD projesinde inşaatçı olarak kullanılabilir. Bazen, kurucular proje şirketine öz sermaye kapitali sağlarlar.
- İşleticiler yapılan tesisi işletir ve geçindirir. Operatörler büyük altyapı projelerinin işletilmesinde sektöründe en iyi deneyime sahip uzman şirketlerdir. Proje şirketi YİD projelerinin kullanıcılarından gelir toplamak ve işletim/bakım tesislerinin inşaatı için operatörlere işletim ve bakım sözleşmesine dayanarak yetki verir, karşılığında proje şirketi operatörlerin belirli bir kâr sağlaması hususunda teminat verir.

Yap-işlet-devret modelinde diğer yapım modellerine göre birçok tarafın ilişkisi ile kurulan bir sistem mevcuttur. Bu tarafların arasındaki ilişkileri düzenleyen sözleşmelerin sayısı da oldukça fazla olup, taraflar ve sözleşme sayıları projenin yapısı, büyüklüğü gibi etkenlere göre değişkenlik gösterse de birçoğunda bulunan taraflar ve sözleşmeler kısaca aşağıdaki Şekil 2’de açıklanmaktadır.



Şekil 2. YİD Projelerinin Yapısı, İşleyişi ve Katılımcıların Kontrat İlişkileri

**Kaynak:** Islam, 2008:17.

Bu çalışmada, YİD projesine taraf olan ana ortaklar; sponsorlar, borç veren kuruluş ve ilgili hükümet kuruluşudur. Bu ana paydaşların sözleşmeye dayalı ilişkilerinden çok tarafların proje şirketinden önemli beklentileri hedef alınmıştır. Bu kapsamda tarafların proje şirketinden beklentileri ve proje şirketinin ihaleyi kazanmasını sağlayacak ana karar değişkenleri, giriş bölümünde açıklandığı gibi özsermaye düzeyi, imtiyaz süresinin uzunluğu ve ürün ya da hizmetlerin başlangıç/tabana fiyatı/tarifesi olarak belirlenmiştir.

#### 2.4. YİD Projelerindeki Belirsizlikler ve Risk

Proje finansmanına konu olan YİD projelerinde yatırımın uzun süreyi kapsamaması, imtiyaz süresinin uzunluğu, yapılacak yatırımın niteliği ve tutarı, birçok kuruluşun projede taraf olması, üretilecek mal ve hizmetin satış fiyatının belirlenmesi, istenilen gelirin elde edilmesi ve yatırımın yapılacağı ülkenin siyasi ve ekonomik koşulları gibi nedenlerden dolayı belirsizlikler kaçınılmazdır. YİD projesinin finansal sonuçları ve genel başarısı belirsizliklerin kaynağının belirlenmesine ve projenin işleyiş stratejilerine yüksek derecede bağlıdır. YİD projelerinde belirsizlerin kaynakları ve dağılımı oldukça

karmaşık bir konu olmakla birlikte, bu belirsizliklerin analiz edilmesi ve önlenmesi bu projelerin başarılı olması açısından son derece önemlidir. Her YİD projesinin birbirinden ayrı kendisine özgün bir risk profili vardır. Genel anlamda YİD projeleri için belirsizlik faktörlerinden aşağıda bahsedilecektir.

#### **2.4.1. Proje tamamlama faaliyetleri belirsizlikleri**

İhalenin kaybedilmesi, yatırımı zamanında bitirememesi, yatırım maliyetlerinin hesaplanandan daha fazla olması gibi maliyet ve zaman aşımı belirsizlikleri vardır. Yine tesisin işletilmesi sırasında planlanan üretim verimliğinin tutturulamaması, rekabet ortamının değişmesi ve maliyetlerin aşımı belirsizlikleri söz konusudur. 3 farklı risk kategorisi aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Tasarım ve geliştirme riski; ihale aşamasında fizibilite çalışmalarının yapılması oldukça maliyetli olmaktadır. Ayrıntılı tasarım planları ve detaylandırılmış teklif dokümanlarına ihtiyaç vardır. İhalenin başka bir şirket tarafından kazanılması başlangıç geliştirme harcamalarının kaybedilmesi sonucunu doğuracaktır.
- 2) Yapım ve tamamlanma riskleri; projenin tamamlanmasında maliyet ve zaman aşimleri risklerdir.
- 3) Performans ve faaliyet riskleri; projenin yapımından sorumlu şirketten ve projeye donanım tedarik edenlerden sağlanan mal ve hizmetlerin kalite ve nitelikleri ile ilgili olarak alınan garantiler ile faaliyet ve bakım sözleşmeleri kapsamında alınan performans garantilerine uygun olarak projenin beklenen verimlilikte işletilememesi riskini ifade eder<sup>30</sup>.

#### **2.4.2. Pazar ortamı**

Talepteki belirsizlik üretilecek ürünün fiyatının belirlenmesinde ve dolayısıyla istenilen gelirin elde edilmesinde belirsizlik yaratacaktır. Projenin üretmiş olduğu ürünün ya da hizmetin istenilen fiyattan alıcı bulamaması ve/veya istenilen talep düzeyinin gerçekleşmesi durumlarıdır. Bu nedenle birçok YİD projesinde üretilen mal

---

<sup>30</sup> M. Augenblick ve C. B. Scott (1990). *The build, operate and transfer("BOT") approach to infrastructure project in developing countries*. Washington, D.C.: The World Bank Working Paper Series No:498, The World Bank, s. 25.'ten aktaran Başer (2000), s.145.

veya hizmetlerin öngörülen fiyattan ve miktardan satın alınması garantisini içeren uzun dönemli sözleşmeler yapılmaktadır<sup>31</sup>.

### 2.4.3. Yatırım ortamı

Ev sahibi ülkenin yatırım ortamı, faiz oranındaki dalgalanmalar, enflasyon, yatırımların yabancı para birimi üzerinden yapılıp döviz kuru gibi finansal riskleri oluşturan belirsizlik faktörleri, yatırım ve işletme dönemlerindeki borçlanma maliyetlerinde anormal artışlar yaratabilir. Finansal riskler; borç servisinin maliyeti, borç veren kuruluşların taahhütlerini yerine getirememesi, borcun vadesi, yaratılan nakit akışları, döviz kuru, enflasyon ve faiz oranlarındaki değişimlerle ilişkili olarak ortaya çıkan risklerdir<sup>32</sup>.

### 2.4.4. Hükümet hareketleri

Siyasi iktidarın değişimi, YİD projeleriyle ilgili hükümet düzenlemelerindeki değişiklik, yatırıma devlet tarafından el konulma ve/veya yatırımın ileride devletleştirilmesi, siyasi belirsizlikler, devlet politikalarında köklü değişiklikler olması, devlet desteğinin aniden çekilmesi sabitleşmiş hükümet hareketleri içindeki belirsizlik faktörlerinin birkaç örneğidir.

1) Politik riskler; Hükümetin istikrarı, YİD projelerinden özel sektörün sağlamış olduğu kazançlara hükümetin bakış açısı, vergi uygulamaları dâhil, mali sistemdeki değişiklikler, kamulaştırma ve millileştirme, imtiyazın sona erdirilmesi gibi faktörlerdir<sup>33</sup>.

2) Yasal riskler; mülkiyete ilişkin yasal düzenlemeler, vergi kanunlarındaki değişiklikler, gümrük uygulamaları gibi faktörlerdir. Eğer sponsorlar bu değişimlerden dolayı karşılaşılan zararı telafi ettiremezlerse projenin başarı hedeflerine ulaşması zorlaşabilir.

---

<sup>31</sup> L. S. Hoffman (1998). *The law and business of international project finance*. Netherlands: Kluwer Law International pub, s. 96.

<sup>32</sup> H. Payne (1993). *Financial risk distribution in build operate and transfer projects: Project finance in Europe*. (Der: Shaughnessy Haydn). England: Jhon Wiley&Sons, s. 163.

<sup>33</sup> Başer (2000), s.140.

#### **2.4.5. Beklenmedik olaylar**

Doğal afetler (örneğin, kuraklık, sel, deprem) ve insan kökenli felaketler (örneğin, grev, ayaklanma, savaş) gibi farklı beklenmedik olaylar, beklenmedik olaylarla ilişkili bazı belirsizlik faktörleridir.

### **2.5. YİD Projelerinde Riskten Korunma**

Yukarıda bahsedilen kaynaklardan doğan belirsizlik faktörlerinin tümünün sponsorlar tarafından karşılanmasını beklemek modeli çıkmaza sokacaktır. Zira belirsizlikten kaynaklanan risk paylaşımının ana kuralı herhangi bir riskin, riski kontrol etme gücüne sahip olan tarafça üstlenilmesidir. Hiç kimsenin kontrol edemeyeceği beklenmedik olaylardan meydana gelen belirsizlik faktörleri için ise sigorta seçeneği uygulanmalıdır.

Bu prensiplerden yola çıkarak yukarıda belirtilen belirsizliklerden hükümet hareketlerindeki belirsizliklerin tümü ile yatırım ortamı belirsizliklerin bir kısmının ilgili hükümet kuruluşu tarafından, geri kalan belirsizliklerin ise sponsorlar tarafından üstlenilmesi modeli finanse edilebilir hale getirecektir. Diğer taraftan, sponsorlar YİD projesinin istenen başarıda gerçekleştirilmesinde bazı belirsizlik faktörlerinin etkisini öngörebilirler. Örneğin sponsorlar proje tamamlama faaliyetlerinden ve pazar ortamından kaynaklanan belirsizlik faktörlerini uygun stratejilerle yönetebilirler. Aslında, YİD projesinin finansal başarısının sağlanmasında pazar ve proje tamamlama faaliyetlerinden kaynaklanan belirsizlik faktörleri kritik öneme sahiptir.

YİD projelerinin başarısı sadece belirsizlik kaynaklarının belirlenmesi ile sınırlı değildir, aynı zamanda belirsizlik faktörlerinin tahlilinde karar vericilerin seçtiği stratejilere de bağlıdır. Sponsorlar aşağıda belirtilen üç tip belirsizlikten korunma stratejisini dikkate alabilirler.

#### **2.5.1. Riskten korunma ve sigorta**

Yatırım ortamından kaynaklanan risklerin YİD projesinin istenen finansal sonuçları üzerindeki etkisi sigorta seçeneği ile azaltılabilir. Aslında YİD prensipleri gereği proje şirketi, inşaat veya işletme dönemi süresince bağlı olduğu bakanlıkla anlaşma sağlamak suretiyle inşaat risk sigortası, genel sorumluluk sigortası, hasar sigortası, nakliye sigortası, üçüncü kişilere karşı mali mesuliyet sigortası yaptırmakla

yükümlüdür. İnşaat süresince sigorta masrafları yatırım tutarına eklenmektedir. İşletme dönemindeki sigorta masrafları doğrudan tarifeye yansıtılmaktadır. Bundan dolayı, riskten korunma ve sigorta sonuçta sermaye maliyetini arttırır<sup>34</sup>.

### 2.5.2. Hükümet desteği

Belirsizlik faktörlerinin etkilerini azaltmak için, sponsorlar hükümet kuruluşundan her türlü desteği isteyebilir. Hükümet desteği stratejisinin örnekleri özsermaye garantisi, borç garantisi, kur garantisi, enflasyondan korunma, minimum ticaret garantisi ve gelir garantisi gibi farklı formlarda garantileri içerir<sup>35</sup>.

Politik belirsizlikler kategorisindeki kalemlerle, enflasyon ve döviz kuruna bağlı belirsizliklerin devlet tarafından yatırımcı ile yapılan kontrat çerçevesinde sağlanacak garantiler yoluyla üstlenilmesi hem daha doğru hem de daha ucuz olacaktır. Bazı durumlarda, hükümet kuruluşları YİD projeleri tarafından sağlanan ürün veya hizmetlerin belirli bir miktarını satın almayı kabul edebilir. En uç noktada, hükümetler özellikle ekonomik ve ticari açıdan uygulanabilir olmayan önemli ulusal YİD projeleri için öz sermaye karşılayıcısı görevi görebilirler. Örneğin, Meksika'daki bazı paralı yol projeleri bu tip devlet desteğinden yararlanmışır<sup>36</sup>.

Tedarik garantisi: hükümet belirli düzeyde lojistik destek sağlayabilmektedir. Örneğin hükümet, projenin inşa edileceği araziye, karayolu, demiryolu, hava ve deniz limanlarına ulaşım kolaylıklarını, ulaşım hatlarını, uzun vadeli tedarik sözleşmeleri aracılığıyla ilk madde ve malzeme ve hizmetlerin sağlanması konularında destek garantisi verebilir<sup>37</sup>.

Hükümet kuruluşuyla YİD projesini gerçekleştirecek olan proje şirketi arasında, en azından projenin borçlarının ve anapara ve faizleri ile özsermaye yatırımcılarının beledikleri getiri oranını karşılayacak şekilde ürün satın alınmasına yönelik yani talep garantisine yönelik uzun vadeli ve bağlayıcı nitelikte sözleşmeler imzalanması istenebilir. YİD projelerinde üretilen mal ve hizmetlerin hükümet yerine doğrudan son kullanıcılara satıldığı projelerde örneğin otoyol projesinde, ana borç verenler yolun

<sup>34</sup> L. Senbet ve A. Triantis (1997). Strategies for risk management financial contract design. Prepared for the World Bank Institute's *Building knowledge and enterprise in infrastructure finance program*, The World Bank, Washington, D.C.

<sup>35</sup> Kumaraswamy ve Zhang (2001), s.195-205

<sup>36</sup> F. Vazquez ve S. Allen (2004). Private sector participation in the delivery of highway infrastructure in central America and Mexico. *Construction Management and Economics*, 22(7), s. 745-754.

<sup>37</sup> Augenblick ve Scott (1990), s.15-16.'dan aktaran Başer (2000), s.87.

düşük kapasiteyle kullanılmasına bağlı olarak elde edilen gelirlerin borcun anapara ve faizini karşılayamayacağı endişesiyle risk alma konusunda isteksiz davranabilirler. Aynı şekilde projeye özsermaye koyan sponsorlar da böyle bir riskin altına girmek istemezler. Bu sorunun çözüm yollarından bir tanesi hükümetin otoyol gelirlerinin belirli bir düzeyin altına düşmesi halinde proje şirketine köprü kredisi veya destek kredisi sağlamayı kabul etmesidir.

Hükümet kuruluşu, kredi/özsermaye katılım desteği sağlayabilir. Bazen hükümetler proje maliyetlerinin bir kısmını karşılayacak şekilde proje şirketine doğrudan ya da özsermaye sağlayarak katılımında bulunurlar.

Proje şirketinin imtiyaz dönemi boyunca gelir vergisinden muaf tutulması, stopaj kesintisinin yapılmaması, gümrük vergi muafiyetleri gibi destekler olabilir.

YİD projelerinde borç verenler ve sponsorlar kendilerini enflasyon riskinden koruyacak çeşitli mekanizmaların oluşturulması konusunda ısrarlı davranırlar. Bu sebeple fiyat indekslerinin kullanılması ve ürün satış fiyatlarının enflasyona göre artırabilmesi olanağını taşıyan koşullar istenir.

İlaveten aynı ürünü üreten şirketlerin piyasada olmaması gibi rekabetten korunmaya yönelik destekler sponsorlar tarafından hükümet kuruluşundan istenebilir.

Bu kapsamda dünyadaki YİD modeli uygulamalarında modelin uygulanmasını mümkün kılmak için devlet tarafından zaman zaman uygulanan diğer yöntemler aşağıda sıralanmıştır<sup>38</sup>.

- Proje şirketine rekabeti önleyici imtiyazlar garanti edilmesidir.
- YİD yatırımın sözleşme tarihi sonuna kadar devletleştirilmeyeceği garantisinin verilmesidir.
- Proje şirketi tarafından alınacak finansal kredilerin geri ödeme garantilerinin verilmesidir.
- Beklenmedik durumlar karşısında yatırımın önceden sözleşme ile belirlenen bir fiyat karşılığında devletçe satın alınacağını garanti edilmesidir.
- Mevcut şartların YİD tesisinden elde edilecek ürün/hizmet tüketimini arttıracak şekilde devletçe manipüle edileceğinin garantisinin verilmesidir (ek bağlantı yolların yapılması, şehir gelişim planlarının yatırıma göre değiştirilmesi, v.b.).

---

<sup>38</sup> E. Arıoğlu. (1996). Enerji sektöründe Yap-işlet-devret modelinin irdelenmesi. *TMMOB Türkiye Enerji sempozyumu*. Ankara: Emo Yayınları, s.242-243.

- Devletin sahip olduğu mevcut altyapı dağıtım şebekelerine yatırımın bağlanma garantisinin verilmesidir.
- Proje şirketine direkt olarak sübvansiyonlar ya da hibe krediler temin edilmesidir.

Ek olarak sponsorlar tarafından üstlenilecek risklerin bir kısmı müteahhit, işletmeci ve sigorta şirketlerine aktarılabilir. Devletin üstlenmesi gereken risklerin bir bölümü de aynı şekilde Dünya Bankası'nın sigorta kuruluşu olan Uluslararası Yatırımları Garanti Ajansına (Multilateral Investment Guarantee Agency MIGA) sigorta ettirilebilir.

### 2.5.3. Self-finansal destek

Sigorta ve hükümet desteği seçeneklerinin kullanımı aslında YİD projelerdeki belirsizliklerle mücadele için dış mekanizmalardır. Bunun aksine, sponsorlar kendi yönetim yeteneğini içinde YİD projelerinin beklenen finansal sonuçları üzerindeki farklı belirsizlik faktörlerinin etkilerine uyum sağlayabilirler.

Sponsorlarının hükümet kuruluşuna uygun ve kabul edilebilir bir finansal paket sunmaları için, proje teklifi en düşük sermaye maliyetini sağlayacak, işletim ve bakım maliyetlerini en aza indirecek, projenin gelirleri üzerindeki borç servisini minimum kılacak ve kredibilitiyi değiştirmeyecek bir yapıda olmalıdır<sup>39</sup>. Bu amaçla finansal stratejilerin oluşturulması aşamasında, en uygun finansman kaynaklarının bulunması, alternatif borç-özsermaye yapılarının değerlendirilmesi ve buna bağlı olarak finansal faydanın en yüksek düzeye çıkarılması amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda sermaye maliyetinin ve finansal risklerin en aza indirilmesine yönelik çeşitli stratejiler geliştirilir. Bu stratejiler; borçlanmadaki vadeyi uzatmak, mümkün olduğu ölçüde sabit faiz üzerinden borçlanmak, alınan borçların yenilememe riskini en aza indirmek ve döviz kuru risklerinden korunmak şeklinde sıralanabilir<sup>40</sup>.

Pazar ortamı belirsizlikleri için projeden bağımsız tahminler yapılabilir. Şöyle ki benzer bir ülkedeki pazarın yapısı incelenerek üretilen ürüne ilişkin proje şirketinin pazar payı tahmin edilebilir. Hükümet tarafından sağlanan garantilerin verilmemesi riskine karşılık uzman danışmanlardan yardım alınarak imtiyaz sözleşmesine bununla

<sup>39</sup> Başer (2000), s.106.

<sup>40</sup> R. L. K. Tiong ve J. Alum (1997). Financial commitments for BOT projects. *International Journal of Management*, 15(2), s.76-77.

ilgili maddeler koyulabilir. Pazar riskine bağılı olarak projede kullanılan borç özsermaye oranına sınırlama getirilebilir<sup>41</sup>.

Self-finansal destek seçeneğı çerçevesinde, sponsorlar öngörülen gelir ve proje finansman mekanizmalarına dayalı farklı belirsizlik faktörlerin etkilerini kabul ederler.

Sigorta ve riskten korunma stratejileriyle elde edilen faydanın maliyeti genellikle devlet desteğinininkinden daha yüksektir. Belirsizliklerle uğraşmak için, birçok YİD projesi bir ölçüde hükümet desteğı aramayı tercih eder. Eğer sponsorlar hükümet desteğinin dışında finansal çözümler formüleştirebilirse rekabet avantajı sağlayacaklardır<sup>42</sup>.

Bu çalışmada sponsorların self-finansal desteğini göz önüne alarak, sponsorların ihale hedeflerinin gerçekleştirilmesi için finansal modeller sunulacaktır.

## 2.6. Varsayımlar

YİD projesi finansal modelinin gelişimi için dikkate alınan önemli varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

1) Toplam proje kapitali borç ve öz sermayeden oluşur.

2) Ticari bankalardan alınan krediler borcu temsil ederken, sponsorların nakit katkısı öz sermayeyi temsil eder. Bu doktora araştırması finansal modelin önerilen gelişimi içinde öz sermaye ve borç kaynağı olarak tahvil ve hisseleri dikkate almayacaktır. Tek bir kaynaktan borç-kredi sağlanacaktır.

3) Belirsizlik faktörleri YİD projelerin finansal sonuçlarındaki değışkenliğe neden olan iki temel kaynaktan meydana gelir. Bu kaynaklar, pazar ortamı ve proje tamamlama faaliyetleridir.

4) Sponsorlar YİD projeleriyle ilgili ele alınan belirsizliklerle mücadele için kendi self-finansal destek seçeneğini kabul ederler.

Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde finansal model formülasyonu ile ilgili detaylı varsayımlar ve önerilen finansal modelin gelişimi sunulacaktır.

---

<sup>41</sup> Islam (2008), s. 24

<sup>42</sup> Islam (2008), s. 24

### 3. Literatür Çalışması

Bu bölümde araştırmayla ilgili literatür geniş biçimde incelenmektedir. Öncelikle deterministik yatırım ortamında YİD yatırım projesinin değerlendirilmesinde kullanılan değişik yatırım değerlendirme yöntemlerinin tartışması yapılmıştır. Bunu belirsizliklerin varlığında kullanılacak yatırım değerlendirme yöntemlerinin sunulması izlemiştir. Daha sonra çeşitli optimizasyon yöntemleri incelenmiştir. Son olarak, proje şirketinin ihale hedeflerinin optimizasyonu için çeşitli optimizasyon yöntemlerinin arasından en uygun yöntem belirlenmiştir.

#### 3.1. YİD Proje Değerlendirme Yöntemleri

YİD modeliyle gerçekleştirilecek projenin değerlendirilmesinde; fizibilite raporlarının hazırlanması, seçeneklerin analizi, projenin tamamlanması, uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi gibi değişik aşamalar vardır ve bunlar farklı ekipler tarafından yapılır.

YİD projelerinde 5 tür değerlendirme yapılmaktadır. Bunlar, ticari, teknik, çevresel, ekonomik ve finansal değerlendirmelerdir<sup>43</sup>. İlgili hükümet kuruluşu, doğal kaynakların en iyi şekilde kullanılması, projenin sağlayacağı fayda ve maliyetlerin belirlenmesiyle ilgili olan ekonomik değerlendirmeyle öncelikle ilgilenir<sup>44</sup>. Proje yüklenicileri ise ekonomik değerlendirmeden daha çok finansal değerlendirmeyle ilgilenirler.

Finansal ve ekonomik yatırım değerlendirme yöntemleri, bir yatırım fırsatını sistematik olarak değerlendirir. Maliyet gibi yatırım elemanlarının kâr elde etmek gibi istenilen sonuçlara ulaşmadaki etkilerini hesaplar<sup>45</sup>.

Finansal değerlendirme kapsamında, YİD projelerinin finansal yapılabiliğinin, finansal kapasitesinin projenin planlanmış olan takvimine bağlı olarak gerçekleşen maliyetleri karşılayıp karşılayamadığı analiz edilir<sup>46</sup>. Borç veren kredi kuruluşları ile sponsorların öncelikli kaygıları, projenin ekonomik ve finansal açıdan yaşama kabiliyetinin olup olmadığıdır. Yani gelir ve diğer faydalar ile maliyetleri etkileyen tüm

---

<sup>43</sup> Başer (2000), s.97.

<sup>44</sup> Başer (2000), s. 96.

<sup>45</sup> İslam (2008), s.27.

<sup>46</sup> Başer (2000), s.103.

faktörlerin incelenmesi ve bunlara ilişkin oranların hesaplanması bu analizlerin konusunu oluşturur. Projeye ilişkin ekonomik ve finansal oranların hesaplanması, projenin üreteceği ürünün satışından elde edilecek gelirler ile bu gelirlerin elde edilmesi için yapılan başlangıç sermaye harcamaları ile projenin yaşam süresi boyunca yapılacak olan bakım ve onarım harcamaları temel alınarak yapılır<sup>47</sup>. Finansal değerlendirmede; borç, anapara ve faiz ödemeleri, kâr payı ödemeleri, yasal kesintiler, uzun vadeli borç kullanım koşullarının uygunluğu, özsermaye ve borçların oranları konuları dikkatle incelenir<sup>48</sup>. Ayrıca finansal açıdan YİD projelerinin sürdürülebilmesi yapım ve işletim giderlerine, projenin beklenen getirisine ve sermaye maliyetine yüksek derecede bağlıdır.

Finansal değerlendirme, projenin yıllık nakit akışlarına odaklı bir değerlendirmedir. Sponsorlar, projenin finansal açıdan sürdürülebilirliğini kontrol etmek için projenin nakit akışlarının borç servisini karşılayıp karşılayamayacağını bilmek isterler. Sponsorlar, finansal değerlendirme sonucunda hükümetten istenecek desteği tahmin edebilirler. Bununla birlikte finansal değerlendirmede, değişik oranlarda borç özsermaye bileşimlerinin projenin kârlılığına olan etkisi belirlenir.

Uygun yatırım değerlendirme yönteminin seçimi, projenin şekline, işletme sektörüne, şirketin doğasına ve tabii ki projenin analiz aşamasına ve büyüklüğüne gibi birçok faktöre bağlıdır<sup>49</sup>. YİD projelerindeki yatırımların değerlendirilmesi için var olan yöntemler iki geniş kategoriye ayrılır. İlk grup tamamen finansal ve ekonomik konulara odaklanır. Diğer grup ise Kepner-Tregoe Karar Analizi<sup>50</sup> ve En İyi Değer Kaynak Seçim metodu<sup>51</sup> gibi alternatifler arasından seçim yapılan çok kriterli yaklaşımlarla ilgilidir. Bu çalışmada finansal açıdan YİD projelerindeki yatırım değerlendirilmesi amaçlandığından, aşağıdaki bölümlerde birinci kategoride yer alan yatırım değerlendirme yöntemleri detaylandırılmıştır. Bu yöntemler projelerin nakit akışları, paranın zaman değeri ve risk gibi kriterleri dikkate alarak yatırım kararlarının

<sup>47</sup> H. Razavi (1996). *Financing energy projects in emerging economies*. Tulsa, Oklahoma: Penn Well, Books, s.37.

<sup>48</sup> H. Sariaslan (2003). *Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi, planlama-analiz-fizibilite*. (2. Basım). Ankara: Turhan Kitabevi Yayınları, s.215-216.

<sup>49</sup> M.M. Akalu (2003). The process of investment appraisal: the experience of 10 large British and Dutch companies. *International Journal of Project Management*, 21(5), s.355-362.

<sup>50</sup> X.Q. Zhang vd. (2002). Concessionaire selection for build-operate-transfer tunnel projects in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), s. 155-163.

<sup>51</sup> A. Akintoye vd. (2003). Achieving best value in private finance initiative project procurement. *Construction Management and Economics*, 21(5), s. 461-470.

verilmesini sağlamaktadır. Her yöntemin kendine göre güçlü ve zayıf yönleri bulunduğundan şirketler farklı koşullar altında karar alırken bu yöntemlerin bir çoğundan aynı anda faydalanabilmektedir.

### **3.1.1. Belirlilik ortamında kullanılan statik yöntemler**

Proje değerlendirme yöntemleri paranın zaman değeri kriterine göre kendi aralarında statik (paranın zaman değerini dikkate almayan) ve dinamik (paranın zaman değerini dikkate alan) yöntemler olarak iki grupta incelenmektedir. Günümüzde statik yöntemler yatırım projelerinin değerlendirilmesinde birincil karar kuralı olarak kullanılmasa da anlaşılması ve kullanılması basit olan bu yöntemlerden ön fikir vermesi amacıyla hala yararlanılmaktadır.

#### **3.1.1.1. Geri Ödeme Süresi (GÖS) yöntemi**

Geri Ödeme Süresi yöntemi, bir yatırımın sağlanması beklenen net nakit girişlerinin, sabit yatırım tutarını karşılayabilmesi için geçmesi gereken sürenin uzunluğunun veya yıl sayısının bulunmasıdır<sup>52</sup>. Bu yöntemde karar kuralı kendini en kısa sürede ödeyebilen yatırımlara öncelik verilmesi, başka bir deyişle geri ödeme süresi kısa olan projelerin seçilmesidir. Projenin Geri Ödeme Süresinin, önceden belirlenen bir sona erme süresinden ve projenin ekonomik ömründen daha kısa olması beklenmektedir.

GÖS basitliği, uygulamadaki kolaylığı ve rahat anlaşılabilirliği sayesinde günümüzde ön bilgi amaçlı olarak faydalanılan bir yöntemdir. GÖS yöntemi şirketleri kendini kısa sürede ödeyen projelere yönlendirdiğinden, belirsizliğin yüksek olduğu riskli yatırım ortamlarında ve likidite sıkışıklığı olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır<sup>53</sup>.

Bu yöntemde paranın zaman değeri dikkate alınmamaktadır. Enflasyon nedeniyle oluşan değer kayıpları ve paranın alternatif faiz maliyeti dikkate alınmadığından uzun dönemli projelerin değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Yöntemin projenin kârlılığını ve geri ödeme süresinden sonra sağlanan nakit girişlerini dikkate almaması bir diğer dezavantajdır. GÖS yönteminde projelerin riskini hesaplamalara doğrudan yansıtma olanağı bulunmamaktadır.

<sup>52</sup> Ö. Akgüç (1998). *Finansal Yönetim* (7. Basım). İstanbul: Avcıol Basım-Yayın, s.306.

<sup>53</sup> S.A Ross vd. (2002). *Fundamentals of corporate finance*. (6. Basım). USA: McGraw-Hill Irwin, s.281.

McCowan (2004) YİD projelerindeki yatırım fırsatlarının sıralanması ve değerlendirilmesi için GÖS yöntemini kullanmıştır.

Brealey ve ark. (2003) GÖS yönteminin aslında genellikle yatırım kararları için gülünç sonuçlar sağlayan geçici bir önlem olduğunu savunmuştur<sup>54</sup>. Gerçekte, GÖS yöntemi, bir ön önlem olarak ve diğer yatırım değerlendirme yöntemleri ile birlikte kullanılmalıdır.

### 3.1.1.2. Ortalama Getiri Oranı (ARR) yöntemi

Muhasebe getiri oranı olarak da bilinen ARR, vergi sonrası ortalama kârın yatırımın ortalama defter değerine oranı olarak tanımlanmaktadır<sup>55</sup>. Esasen ortalama kârın ortalama sermaye yatırımının bir yüzdesi olarak ifade eden ortalama getiri oranıdır<sup>56</sup>. Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç, bir projeden elde edilmesi beklenen getirinin önceden belirtilmiş bir limitle karşılaştırmaktır<sup>57</sup>. Hedef getiri oranı yöneticilerin subjektif görüşlerine göre belirlenebileceği gibi, varlık getirisi veya sermaye maliyeti gibi standartlar da olabilmektedir.

ARR yöntemi, basit uygulanabilir oluşu, detaylı analiz ve çok sayıda veri gerektirmeyişi nedeniyle uzun yıllardır yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bunun yanında yatırımın kendini ödeme süresi yerine kârlılığını dikkate alması nedeniyle bir takım avantajlar da sağlamaktadır. Bu yöntem, finansal kurumların temel varlıkları finansal enstrümanlar olduğu için çok az amortisman veya çalışma sermayesi gerektirmesi nedeniyle çoğunlukla yeni ürünlerin ve finansal kurumların hizmetlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır<sup>58</sup>.

ARR yönteminin yukarıda sayılan avantajlarının yanı sıra bir takım önemli dezavantajları da bulunmaktadır;

- 1) Paranın zaman değerine önem vermez,

<sup>54</sup> R.A. Brealey vd (2003). *Capital investment and valuation*. New York: McGraw-Hill.'den aktaran İslam (2008), s. 29.

<sup>55</sup> A. C. Shapiro (2005). *Capital budgeting and investment analysis*. USA: Pearson, Prentice Hall, s. 19.

<sup>56</sup> R. Dixon (1994). *Investment appraisal, a guide for managers*. London: Revised Edition, Kogan Page Limited, s. 24.

<sup>57</sup> J.J. Clark (1989). *Capital budgeting, planning and control of capital expenditures*. (Third Edition). USA: Prentice Hall, Inc., s. 72.

<sup>58</sup> N. Seitz ve E. Mitch (2005). *Capital budgeting and long-term financing decisions*. (4. Basım). USA: South-Western, Thomson. s. 180.

2) ARR'nin hesaplanmasında kullanılan veriler, bilançodaki varlıkların defter değerini dikkate alır. Defter değerlerinin varlığın piyasa değerini ve verimliliğini yansıtamamasından ötürü bu veriler yanıltıcı olabilir<sup>59</sup>.

3) ARR yönteminde karar, minimum ortalama verimlilik oranı yani Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyetine (AOSM) göre verilmektedir. Ayrıca AOSM'nin yıllar boyunca sabit kabul edilmesi de hatalı kararlara neden olabilir.

4) ARR yöntemi, projeden elde edilen gelirin, projenin ekonomik ömrü boyunca dağılımına önem vermez. Oysa rasyonel bir yatırımcı projenin ekonomik ömrünü ve projenin net kâr dağılımını dikkate almalıdır<sup>60</sup>.

### 3.1.2. Belirlilik ortamında kullanılan dinamik yöntemler

Proje değerlendirme çalışmalarında amaca bağlı olarak çeşitli karar kriterleri kullanılabilir. Bunların en yaygın kullanılanı Net Bugünkü Değer (NPV) ve İç Getiri Oranı (IRR) yöntemleriyle elde edilen değerlerdir. Bu yöntemler paranın zaman değerini göz önüne alan dinamik yöntemlerdir. Bu iki yöntem YİD projesi yatırım değerlendirme kapsamı içinde ele alınacaktır.

#### 3.1.2.1. Net Bugünkü Değer yöntemi

Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişlerinin önceden saptanmış belirli bir iskonto haddi (yatırımdan beklenen asgari iç kârlılık oranı) üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamı ile yatırımın gerektirdiği para çıkışının bu iskonto haddi üzerinden bugünkü değeri toplamı arasındaki farktır<sup>61</sup>. Yöntem, gelecekteki para girişlerinin ve çıkışlarının değerini bugünkü değerine dönüştürür ve farka NPV denir. Iskonto oranı olarak; ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (AOSM), benzer yatırımların verim oranı, şirketin ortalama kârlılık oranı, yatırımın taşıdığı risk oranı, kaynakların alternatif kullanım alanlarındaki kârlılık oranları, ortakların ve ortak olma durumunda bulunanların beledikleri minimum kâr oranı dikkate alınabilir ya da bu ve benzeri verilerden yararlanılarak bir

<sup>59</sup> Ross vd (2002), s. 287.

<sup>60</sup> Akgüç (1998), s. 335.

<sup>61</sup> Akgüç (1998), s. 354.

oran hesaplanabilir<sup>62</sup>. Bu oran şirketler tarafından fizibilite aşamasında genellikle %10 olarak alınır.

Karar kriteri olarak; eğer projenin net bugünkü değeri pozitifse veya sifıra eşitse proje kabul edilir, aksi takdirde reddedilir. Dolayısıyla diyebiliriz ki  $NPV \geq 0$  ise proje kabul edilir aksi halde reddedilir. NPV'nin pozitif çıkması, yatırımın istenen getiri oranına eşit ya da onun üstünde bir getiri sağlayacağını ifade eder. NPV'nin negatif olması ise projenin istenen getiri oranının altında bir getiri sağlayacağı anlamına gelir.

Ranasinghe (1999), Javid ve Seneviratne (2000), Shen vd. (2002), Lianyu ve Tiong (2005), Shen ve Wu (2005), Wibowo ve Kochendorfer (2005) ve Islam (2008) YİD projelerindeki yatırımı değerlendirmek için NPV yöntemine başvurmuştur<sup>63</sup>.

NPV yönteminin en önemli üstünlüğü paranın zaman değerini dikkate almasıdır. Ayrıca hesaplamaların basit olması, projenin ekonomik ömrünün tamamının dikkate alınması, hesaplamada muhasebe kârlılık değil de nakit akışlarını dikkate alıyor olması yöntemin diğer üstünlükleri arasında sayılabilir. İskonto oranı belirlenirken alternatif yatırım maliyetlerinin de dikkate alınması sağlıklı karar verilmesini sağlar.

Yöntemin uygulanmasındaki en büyük sıkıntı da bu iskonto oranının tespitinde yaşanır. İskonto oranının sabit olarak kabul edilmesi teknolojik değişimin ve riskin yüksek olduğu sektörlerde yanlış yatırım kararlarının verilmesine neden olabilecektir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için her dönemin nakit akışları, belirlenen farklı iskonto oranları ile indirgenmelidir. Ancak uygulamada her dönem için ayrı ayrı iskonto oranı hesaplanması oldukça zor olmaktadır. İskonto oranı yanlış hesaplanırsa sağlıklı karar verilemez. Bununla birlikte, NPV yöntemi hala tercih edilir ve bir projenin finansal ve ekonomik değerlendirmesi için önerilen yöntem olmaktadır<sup>64</sup>.

---

<sup>62</sup> M. Ak (2004). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve gerçek tercih yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, s. 43.

<sup>63</sup> Ranasinghe (1999); M. Javid ve P.N. Seneviratne (2000). Investment risk analysis in airport parking facility development. *Journal of Construction Engineering and Management* 126(4), 298-305; L.Y. Shen vd (2002). Alternative concession model for build/operate/transfer contract projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4), 326-330.; C. Lianyu ve R.L.K Tiong (2005). Minimum feasible tariff model for BOT water supply projects in Malaysia. *Construction management and Economics*, 23(3), 255-263.; A. Wibowo ve B. Kochendorfer (2005). Financial risk analysis project finance in Indonesian toll roads. *Journal of construction engineering and management*, 131(9), 963-972; Islam (2008), s. 29.

<sup>64</sup> Brealey vd. (2003)

### 3.1.2.2. İç Getiri Oranı yöntemi

Yatırımın İç Getiri Oranı, yatırımın gerektireceği para çıkışı ile ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişini eşit kılan ıskonto haddi olarak tanımlanmaktadır<sup>65</sup>. Diğer bir anlatımla iç kârlılık oranı NPV'yi sıfıra eşitleyen ıskonto haddidir<sup>66</sup>.

Karar kriteri olarak; eğer IRR'nin değeri önceden belirlenmiş alt limitten, bir geri dönüşten (getiri oranından) daha büyük ya da bu değere eşitse, bu projenin finansmanı kabul edilebilir aksi halde reddedilir. Beklenen minimum getiri oranı olarak genellikle AOSM ya da sermaye maliyeti için belirlenen %10 oranı kullanılır.

Ngee vd. (1997), Kakimoto ve Seneviratne (2000a) YİD projelerinin finansal performans değerlerini belirlemek için İç Getiri Oranı yöntemine başvurmuştur<sup>67</sup>.

Bu yöntem, paranın zaman değerini dikkate almakta ve projenin ekonomik ömrünü bir bütün olarak ve risk ölçütlerini dikkate alarak değerlendirmektedir<sup>68</sup>. IRR yönteminin kullanılmasının temel nedenlerinden birisi de ıskonto oranının bilinmediği durumlarda bile iç kârlılık oranının hesaplanabilmesidir. IRR yöntemi özellikle yatırım projelerinin sermaye maliyetinin hesaplamasının pratikte mümkün olmadığı veya hesaplamasının maliyetli olduğu durumlarda sıklıkla tercih edilmektedir. IRR'nin hesaplanabilmesiyle, sermaye maliyetinin yanlış hesaplanması sonucu ortaya çıkabilecek yanlış yönlendirmelerden sakınılır<sup>69</sup>. Ayrıca IRR yöntemi, projeye yatırılan sermayenin kârlılık oranını belirtir ve bu oranın kullanılacak kaynakların maliyeti ile kıyaslanması karar vericiye kolaylık sağlar. Böylece, karar verici projenin sağlayacağı kârlılığın yeterli olup olmadığını maliyetle karşılaştırarak belirleyebilir<sup>70</sup>. IRR yönteminin sadece proje verilerinden yararlanarak projenin kârlılığını göstermesi ve kolay anlaşılabilir ve kullanılabilir olması gibi avantajlarının olmasının yanı sıra literatürde yoğun eleştiri alan önemli dezavantajları bulunmaktadır.

<sup>65</sup> Akgüç (1998), s. 341.

<sup>66</sup> J.F Fabozzi ve P. Peterson (2003). *Financial management and analysis* (2. Basım), USA: John Wiley & Sons Inc., s. 421.

<sup>67</sup> L. Ngee vd. (1997). Automated approach to negotiation of BOT contracts. *Journal Of Computing in Civil Engineering*, 11(2), 121-128; R. Kakimoto ve P.N Seneviratne (2000a). Financial risk of port infrastructure development. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 126(6), 281-287.

<sup>68</sup> M. R. Charles vd (1995). *Contemporary financial management*. (6. Edition). USA: West Publishing Company, s. 182.

<sup>69</sup> M. Bromwich (1979). *The economics of capital budgeting*. London: Pitman Publishing Ltd., s. 76.

<sup>70</sup> Sariaslan (2003), s. 180.

IRR yönteminin NPV yöntemine göre bazı eksiklikleri vardır. Projenin, ekonomik ömrü boyunca tahmini nakit akışlarındaki her değişim için, farklı bir IRR oranına sahip olması matematiksel olarak mümkündür. Net nakit akışlarının normal olmaması, yani, birden fazla sayıda pozitif nakit akışından sonra negatif nakit akışına geçiş olması, IRR yönteminde sorunlar yaratır. Nakit akışlarının pozitiften negatife dönüştüğü her nokta NPV'nin sıfır olduğu noktadan geçiş demektir. NPV'yi sıfıra eşitleyen ıskonto oranı IRR olduğuna göre nakit akışlarının işaret değiştirdiği her nokta farklı bir IRR'yi ifade eder. Tek bir yatırım birden çok IRR'ye sahip olabilir. Birden fazla IRR'nin olması da değerlendirmeleri anlamsızlaştırır. Son olarak, NPV'yi kullanarak nakit akışlarını açıklamak genelde daha kolaydır<sup>71</sup>.

### 3.1.3. Reel Opsiyonlar yöntemi

Reel Opsiyonlar yöntemini çıkış noktası finansal opsiyonlardır ve kullanımı ile değerlemesi de finansal opsiyon fiyatlama teorisinin yatırım projelerine uyarlanmış şeklidir. Triegorgis (1996) reel opsiyonları, belirsizlik altında esnek kararlar almaya izin veren bir stratejik karar alma ve proje yönetimi modeli olarak tanımlar<sup>72</sup>. Reel Opsiyon analizi özellikle çok uzun süreli potansiyel yatırım projelerinin veya gelecek zamana kadar başlatılmayacak yatırımların belirlenmesinde güçlü bir araçtır<sup>73</sup>.

Reel Opsiyonlar yönteminde projenin değeri, NPV yöntemiyle ölçülen değere opsiyon değerinin de eklemesiyle hesaplanır ve bu değere stratejik NPV denir<sup>74</sup>. Böylelikle reel opsiyon yöntemi daha sağlıklı kararlar verilmesini sağlar ve stratejik kararlar için faydalı bir çerçeve oluşturur<sup>75</sup>. Şöyle ki geleneksel yöntemlerde, genellikle şirketin gelecekte sağlayacağı nakit akışı tahminleri belli bir ıskonto oranı ile indirgenerek yatırım yapma ya da yapmama kararı alınır ve bu karar projenin ekonomik ömrü boyunca gerçekleşecek değişikliklerden etkilenmez, bu değişiklikleri dikkate almaz. Oysa gerçek hayatta bir yatırım kararı alındıktan sonra bu kararın değişen

<sup>71</sup> H. Bierman Jr. ve S. Smidt (1988). *The capital budgeting decision*. Macmillan, New York, s. 109-110.'den aktaran Akkoç (2008), s. 105.

<sup>72</sup> İ. Bostan (2007). *Yatırım projelerinin analizinde reel opsiyonların kullanılması ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, s. 50.

<sup>73</sup> D.K Eiteman vd (2004). *Multinational business finance*. International Edition 10. Edition, Pearson Education Inc., s. 553.

<sup>74</sup> F.J Fabozzi ve P.P. Peterson (2003). *Financial management and analysis* (2. Basım), USA: John Wiley & Sons Inc. s. 472.

<sup>75</sup> C. Walters ve T. Giles (2000). *Using real options in strategic decision making*. [http://mba.tuck.dartmouth.edu/paradigm/spring2000/articles/walters-decision\\_making](http://mba.tuck.dartmouth.edu/paradigm/spring2000/articles/walters-decision_making), Spring, (Erişim tarihi:12.06.2010), s. 2.

ekonomik ve sosyal koşullara göre revize edilmesi gerekir. Bazen yatırımın genişletilmesi bazen de durdurulması gerekir ya da yatırımın belli bir süre ertelenmesi yatırımın kârlılığını arttırabilir. İşte bu stratejilerin kullanılması, şirket yönetimine esneklik ve karar özgürlüğünü vermiş olur. Reel Opsiyonlar, mevcut fırsatları yönetmede veya yeni fırsatlar oluşturmada ve gelecek fırsatlar için stratejik kararlar alınmasında kullanılır<sup>76</sup>.

Reel Opsiyonlar yönteminin zayıf yönleri ise; opsiyon değerlemesindeki pek çok değişkenin finansal uygulamalar dışında uyarlanmasında güçlükler yaşanması ve maliyetli olmasıdır. Proje varlıklarının risk düzeyi de belirlenmesi güç değişkenlerden bir tanesidir ve değerlendirme sürecinde genellikle yöneticilerin geçmiş tecrübeleri ve sezgilerine bağlı olarak tahmin edilmektedir. Aynı şekilde opsiyonlar analiz edilirken, opsiyonunun kullanımı ile dönem sonunda proje değerinde oluşacak artış ve azalışlar tahmin edilmektedir. Bu tahminler geleceğe yöneliktir ve hesaplanması oldukça güçtür. Yöntemin dezavantajı, belirsizliği göz önünde bulundurmasına rağmen şirketin sahip olduğu kaynakların değerinde meydana gelen dalgalanmaları etkileyen çevresel faktörleri yansıtmamasıdır<sup>77</sup>. Ayrıca opsiyonlar, Black-Scholes yöntemi ile değerlendirilirken kullanılan iskonto oranı geleneksel yöntemlerle değerlendirme yapılırken kullanılan iskonto oranı gibi subjektif olarak belirlenmektedir. Reel Opsiyonlar yöntemiyle opsiyon değerlemenin gerçekleşebilmesi için gerekli olan girdiler, klasik NPV yöntemi uygulanarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, teorik bir bakış açısıyla, bu bugünkü net değer yönteminin bir uzantısıdır<sup>78</sup>. Bu nedenle, öncelikli olarak yine de klasik NPV yöntemi kullanılmalıdır.

Son on yıldan daha fazla zamanda Ford vd. (2002), Garvin ve Cheah (2004) gibi araştırmacılar altyapı projeleri gibi finansal olmayan varlıkların değerlendirilmesinde Reel Opsiyonlar'ın teorik ve pratik yönlerini keşfetmek için çalışmışlardır<sup>79</sup>. YİD

<sup>76</sup> R. Brosch (2008). Portfolios of real options, Berlin: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, s. 24'den aktaran S. Erdoğan (2008). *Sermaye bütçelemesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak Reel Opsiyonlar yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi .Kayseri: Erciyes Üniversitesi, s. 67.

<sup>77</sup> S. Erdoğan (2008), s. 131.

<sup>78</sup> Eiteman vd (2004), s.553.

<sup>79</sup> D.N. Ford vd (2002). A real options approach to valuing strategic flexibility in uncertain construction projects. *Construction Management and Economics*, 20(4), 343-351.; M.J. Garvin ve C.Y.J. Cheah (2004). Valuation techniques for infrastructure investment decisions. *Construction Management and Economics*, 22(4), 373-383.

projelerinde Reel Opsiyonlar'ın kullanımı, Ho ve Liu (2002) bir YİD planının finansal kapasitesini analiz etmek için finansal bir model geliştirmesiyle başlamıştır<sup>80</sup>.

YİD projelerinin değerlemelerinde Reel Opsiyonların kullanımında bazı sorunlar söz konusu olmaktadır. Proje sponsorları ihale aşamasındaki YİD projesinin finansal çıkarlarının hazırlığında yukarıda sözü edilen stratejik seçeneklerden (durdurma, erteleme vs.) herhangi birini değerlendirmek için fırsat sahibi olmazlar.

Ayrıca, Reel Opsiyonlar yöntemiyle bir YİD projesinin değerlendirilmesi söz konusuysa, finansal opsiyon fiyatlama teorisi yatırım projesine uyarlanmış olmalıdır. Bu da, bir sermaye piyasası ile YİD proje yatırım fırsatını dengelenmesi anlamına gelir ve piyasa dalgalanmaları ve faiz oranı ile ilgili çeşitli varsayımlar gereklidir. Proje varlıklarının risk düzeyi de belirlenmesi güç değişkenlerden bir tanesidir ve değerlendirme sürecinde genellikle yöneticilerin geçmiş tecrübeleri ve sezgilerine bağlı olarak tahmin edilmektedir. Ancak, gerçek dünya uygulamasını simule etmek için basitleştirilmiş bir finansal model kurmak gerekir bu da çok fazla varsayım kullanmak anlamına gelir. Bu nedenle opsiyon değerlemesindeki pek çok değişkenin finansal uygulamalar dışında YİD projelerine uyarlanmasında güçlükler yaşanması olasıdır. Altyapı yatırım kararlarıyla ilgili, Cheah ve Liu (2005) Reel Opsiyonlar'ın hala daha fazla araştırılması ihtiyacı olduğunu savunmuştur<sup>81</sup>.

#### 3.1.4. Düzeltilmiş Bugünkü Değer (APV) yöntemi

APV yöntemi, indirgenmiş nakit akışı yöntemine benzemektedir. İndirgenmiş nakit akışları yönteminde, borç ve öz sermaye birlikte değerlendirilmekte, borcun etkisi AOSM'de dikkate alınmaktadır. APV yönteminde ise, borçla finansmanın değeri ayrıca hesaplanır. Bu yöntemde öncelikle şirketin borçsuz değeri hesaplanmaktadır. Borç değerinin hesaplanmasında borcun sağlayacağı vergi avantajı ve getireceği iflas ve temsilci gibi maliyet yükleriyle birlikte dikkate alınır. Yöntem bu haliyle ilk defa, Myers'in (1974) yatırım ve finansman kararları arasındaki ilişkinin irdelendiği

<sup>80</sup> S. P. Ho ve L.Y. Liu (2002). An option pricing-based model for evaluating financial viability of privatized infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 20(2), 143-156.

<sup>81</sup> C.Y. J. Cheah ve J. Liu (2005). Reel option evaluation of complex infrastructure projects: the case of Dabhol power projects in India. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 10(1), 55-68'den aktaran Islam (2008), s. 30.

çalışmasında ortaya konulmuştur. 1979 yılında Donald R. Lessard tarafından geliştirilen APV, özellikle şirket değerlendirme uygulamalarında yararlıdır<sup>82</sup>.

Bu yöntem proje riskleri ve finansal yapı açısından ülkeden ülkeye farklılıkları dikkate alır. Bu farklılıklar farklı hammaddeler, üretim aşamaları ve proje aşamasıyla beraber düşünülmelidir<sup>83</sup>. APV yöntemi daha çok uluslararası yatırımların değerlendirilmesinde pek çok yazar tarafından önerilmektedir<sup>84</sup>.

Jonathan D. Tom (1999) yabancı sermayeli bir YİD projesini APV yöntemiyle değerlendirmiştir. Yine Wibowo (2005) bir YİD projesindeki yatırım değerlendirilmesinde APV yönteminin uygulanışını göstermiştir<sup>85</sup>. Ancak, APV yönteminin, projenin işletme aşamalarında yapılan mali muhasebe için kullanımı daha uygundur. Yatırım planlama aşamasında kullanımı mesela ihale aşamasında finansal bir teklif hazırlamak için fazla kapsamlı bir yöntem olur.

### 3.1.5. YİD projesi için uygun yatırım değerlendirme yönteminin seçimi

Sermaye bütçelemesi konusunda 1960'lardan beri pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda Fortune 1000, Fortune 500 vb. listelerde yer alan şirketlere ve/veya birtakım kuruluşlara üye finans yöneticilerine anketler uygulanmıştır. Uygulanan anketlerde şirketlerin yatırımlarını değerlendirirken, tercih ettikleri sermaye bütçelemesi yöntemleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Hemen hemen hepsinde indirgenmiş nakit analizleri birinci sırada yer almıştır.

Bierman'ın araştırmasına göre büyük şirketlerin %99'unun indirgenmiş nakit akışları yöntemlerini birinci ya da ikinci derecede önem verdikleri karar alma aracı olarak kullandıklarını göstermiştir<sup>86</sup>. İndirgenmiş nakit akışları yöntemlerinin uygulamadaki yaygınlığı projenin türüne göre değişiklikler göstermekle birlikte Klammer ve Wilner 1991 yılında 500 büyük Amerikan şirketi üzerinde yaptıkları çalışmada şirketlerin yeni yatırım projelerini değerlendirmede büyük oranda

<sup>82</sup> D. R. Lessard (1985). *Evaluating foreign project: An adjusted present value approach, in international finance management, theory and application*. (Ed: Donald R. Lessard). New York: John Wiley & Sons, s. 570-584.

<sup>83</sup> W. R. Folks ve R. Aggarwal (1988). *International dimensions of financial management*. Boston: Kent Publishing Company, s. 224- 227.

<sup>84</sup> E. Akkoç (2008). *Çok uluslu işletmelerde sermaye bütçelemesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, s. 106.

<sup>85</sup> A. Wibowo (2005). Estimating general threshold traffic levels of typical build, operate and transfer toll road projects in Indonesia. *Construction Management and Economics*, 23(6), s. 621-630.

<sup>86</sup> H. Bierman, (1993). Capital budgeting in 1992: A survey. *Financial Management*, 22( 3), s. 24'ten aktaran Akkoç (2008), s. 115.

indirgenmiş nakit akışları yöntemlerini kullandıkları göstermişlerdir<sup>87</sup>. Bu çalışmaya göre yeni yatırım projelerinin tasarlanmasında bu oranlar 1975'te %49, 1980'de %71, 1988'de ise %87 olmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, şirketler daha çok önem verdikleri ve nispeten daha uzun ömürlü olan ve yeni yatırım projelerinde daha yaygın olarak indirgenmiş nakit akışları yöntemlerini kullanmaktadırlar.

Son 10 yılda literatürde bu alanda çok fazla bir gelişme olmamıştır. Truong, Partington ve Peat (2004) Avustralyalı şirketlerin kullandıkları sermaye bütçeleme yöntemlerini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır<sup>88</sup>. Yapılan değerlendirmede şirketlerin en fazla kullandıkları sermaye bütçeleme yöntemleri literatüre uygun olarak sırasıyla —Net Bugünkü Değer (%94), —Geri Ödeme Süresi (%90) ve —İç Getiri Oranı (%81) olmuştur. Bu üç yöntemin yanı sıra katılımcıların %54'ü —Düzeltilmiş Bugünkü Değer ve %32'si —Reel Opsiyonları da kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada şirketlerin sermaye bütçeleme yöntemlerini önem sırasına koymaları istenmiştir. Elde edilen verilere göre şirketlerin en çok önem verdikleri yöntem NPV olmuştur. Katılımcıların %8'i — APV yöntemine beşinci sırada yer vermiştir.

Yukarıdaki bölümlerde, YİD projelerinin finansal analizlerinde farklı yatırım değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Literatürün büyük bir kısmında YİD projelerinde yatırımların değerlendirilmesi için indirgenmiş nakit akışı tekniğini benimsemiş olmasına rağmen, Reel Opsiyonlar ve Düzeltilmiş Bugünkü Değer yöntemi gibi diğer yöntemlerin birkaçı kullanılmıştır. İndirgenmiş nakit akışı analizinin çeşitli yöntemleri arasından birçok akademisyen Net Bugünkü Değer yöntemini kullanırken, birkaçı sadece İç Getiri Oranı yöntemini kullanmıştır. Ayrıca, Malini (1999), Chang ve Chen (2001), Ye ve Tiong (2003)<sup>89</sup>, ve Bakatjan vd. (2003), Islam (2008) gibi birkaç araştırmacı YİD projesi yatırım değerlendirilmesinde NPV yöntemi ve IRR yönteminin kombine bir uygulamasını yapmıştır.

Projenin amacına ve analiz aşamasına uygun yöntemin belirlenebilmesi için bu anlamda her bir yöntemin güçlü ve zayıf yönleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

<sup>87</sup> T. Klammer ve N. Wilner (1991). *Journal of Management Accounting Research*, Vol. 3, s. 113-131'den aktaran Akkoç (2008), s. 116.

<sup>88</sup> G. Truong vd (2004). *Cost of capital estimation and capital budgeting practice in Australia*. <http://www.afaanz.org/web2005/papers/partingtong-FIN.pdf> (Erişim tarihi: 15.01.2009)

<sup>89</sup> E. Malini (1999). Build, operate transfer municipal bridge projects in India. *Journal of Management in Engineering*, 15(4), s. 51-58; L. M. Chang ve P.H. Chen (2001). BOT financial model: Taiwan high speed rail case. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(3), s. 214-222.; S. Ye ve R.L.K. Tiong (2003). The effect of concession period design on completion risk management of BOT projects. *Construction Management and Economics*, 21(5), s. 471-482.

Tablo 1. Yatırım Değerleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

	Geri Ödeme Süresi yöntemi	Ortalama Getiri Oranı yöntemi	Net Bugünkü Değer yön.	İç Getiri Oranı yöntemi	Reel Opsiyonlar	Düzeltilmiş Bugünkü Değer yön.
Avantajları	Kullanımı kolay Kolay anlaşılır Fazla veri gerektirmiyor	Kullanımı kolay Projenin kârlılığını dikkate alıyor	Paranın zaman değerini dikkate alır Model girdilerinin basit tanımlarını gerektirir	Paranın zaman değerini dikkate alır Model girdilerinin basit tanımlarını gerektirir	Yönetimsel esneklik seçeneklerini hesaplar	Mikro düzeyde finansal kararları sağlar Finanslama kararlarının yan etkilerini sunar
Dezavantajları	Paranın zaman değerini dikkate almıyor Projenin kârlılığını ve geri ödeme süresinden sonra sağlanan nakit akışlarını dikkate almıyor	Paranın zaman değerini dikkate almıyor Nakit akışlarının ekonomik ömür boyunca dağılımına önem vermez Kullanılan veriler yanıltıcı olabilir	Yönetimsel esneklik seçeneklerini yok sayar	Yönetimsel esneklik seçeneklerini yok sayar Düzensiz nakit akışları için birden çok IRR olabilir	Finansal olmayan varlıklar için hesaplamalar çok fazla tahmini gerektirir Kapsamı sınırlıdır. Yönetimsel esneklik durumlarının varlığında uygulanabilir	Finansal planlamanın makro düzeyleri için uygun olmayabilir

**Kaynak:** Islam, 2008:32.

İhale aşamasındaki YİD projesi yatırım değerlendirmesi için yukarıda bahsedilen yöntemlerin hepsi uygun olmayabilir. Örneğin, imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini belirlemek makro düzeyde bir yatırım planlamasıdır. Düzeltilmiş Bugünkü Değer yönteminin kullanılması, bu nedenle, bu aşamada uygun olmayabilir. Sponsorlar bir YİD projesinin ilerleyen safhalarında finansman stratejisinin ayrıntılı yan etkilerini değerlendirmek için Düzeltilmiş Bugünkü Değer yöntemi düşünülebilir<sup>90</sup>. Öte yandan, NPV yöntemi yönetimsel esneklik seçeneklerini göz önünde bulundurmaz. İhaleye teklif vermeden önce, sponsorlar belirsizliklerden bahsetmek için yönetimsel esneklik seçeneklerinin çalışma kapsamına çok fazla sahip değildir. Dolayısıyla, bu aşamada Reel Opsiyonlar yönteminin kullanımı önemsiz hale gelir. Statik yöntemler ise YİD projesinin kârlılığı üzerinde somut kararlar sağlamak için çok basittir. Bu nedenle, kalan seçim indirgenmiş nakit akışı analizidir. Ayrıca, daha önce belirtildiği gibi, indirgenmiş nakit akışı analizi ihale aşamasında önemli bir husus olan azalmış veri gereksinimiyle iyi çalışır<sup>91</sup>. Bu nedenle, bu çalışmada ihale aşamasındaki YİD projelerindeki yatırım değerlendirmek için indirgenmiş nakit akışı yöntemi ele alınacaktır.

<sup>90</sup> Islam (2008), s. 33.

<sup>91</sup> Islam (2008), s. 33.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ihale aşamasındaki YİD projesi için yatırım değerlendirme yeteneğine sahip finansal bir model geliştirmek için indirgenmiş nakit akışı tekniğinin kullanımı (NPV yönteminin ve IRR yönteminin kombine uygulaması) gösterilecektir. Önerilen finansal model daha sonra imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini belirlemek yani finansal optimizasyon modeli kurmak için bir omurga olarak hareket edecektir ve ilerleyen bölümlerde tasvir edilecektir.

### 3.2. Belirsizlik Altında YİD Proje Değerlendirme Yöntemleri

Belirsizliğin varlığı durumunda YİD projesinin yatırım değerlendirmesi için, öncelikle belirsizliğin tanımlanması gerekmektedir. YİD projelerinde belirsizliğin tanımlanmasında farklı risk modelleri çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir<sup>92</sup>. Bu modellerde iki farklı yaklaşım kullanılmıştır: (1) olasılık teorisi yaklaşımına dayalı klasik modeller ve (2) bulanık küme teorisine dayalı kavramsal modeller. Aşağıdaki bölümlerde her bir grubun tartışması yapılacaktır.

#### 3.2.1. Olasılık teorisini kullanan yaklaşımlar

Olasılık teorisini kullanan yaklaşımlarla risk analizinde, ilgi duyulan değişkene ilişkin kestirim, olasılık dağılımı biçiminde ortaya konulur. Olasılık yoğunluk fonksiyonları (PDF) ile değişkenlerin belirsizlikleri ifade edilir. Olasılık dağılımını elde etmede iki çözüm yöntemi vardır: İlk yöntem analitik yöntem olup, bu yöntemle belirlenen yapısal modele göre bireysel kestirimler (örneğin, satışlar ve maliyetlerin olasılık dağılımları) matematiksel olarak birleştirilerek net şimdiki değer gibi son değişkenin olasılık dağılımına ilişkin parametreler elde edilir. İkinci yöntem Monte-Carlo simülasyon yöntemi olup, bu yöntemle yapısal bir modele dayanarak bir dizi denklem oluşturulup, NPV gibi son değişkenin olasılık dağılımına ilişkin parametreler elde edilir. Burada dağılımların matematiksel birleştirilmesi söz konusu değildir.

<sup>92</sup> S.H. Han ve J.E. Diekman (2001). Making a risk based bid decision for overseas construction projects. *Construction Management and Economics*, 19(8), 765-776.; C.C Kang vd. (2005). Risk assessment for build-operate-transfer project: Dynamic multi-objective programming approach. *Computers and Operations Research*, vol.32, 1633-1654.; P.K. Dey ve S.O. Ogunluma (2004). Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects. *Industrial Management and Data Systems*, 104(4), 334-346.; S. Q. Wang vd.(2004). Risk Management Framework for Construction Projects in Developing Countries. *Construction Management and Economics*, 22(3), 237-252.

Kuşkusuz her iki yöntemde de tüm girdilerin olasılık dağılımları olarak modele alınması zorunlu değildir. Duyarlılık analizi sonucunda duyarlı olduğu belirlenen değişkenler, modele rassal değişkenler olarak alınır.

Olasılık teorisini kullanan yaklaşımlar, değişkenlerdeki rastgele değişkenliği açıklamak için olasılık dağılımlarını kullanır. Matematiksel modele dayanan bu dağılımlar daha sonra istatistiksel örnekleme algoritması sayesinde çıktı değişkenleri yayımlarlar. Analitik yöntem ve simülasyon olasılık yaklaşımlarının iki ayrı gruplarıdır. Aşağıdaki bölümlerde bu yöntemlerin YİD düzenine uygulamaları tanımlanmıştır.

### **3.2.1.1. Analitik yöntem**

Analitik yöntem, (olasılık analizi) olasılık teorisini kullanarak belirsizliğin matematiksel olarak modellenmesi ile ilgilenir ve bir sistemin olası sonuçlarını belirler. Risk değişkenlerinin istatistiksel ilişkilerini matematiksel bir biçimde kurar. Olasılık analizinde amaç, ortaya çıkması beklenen olayların gelecekteki durumunun tahmin edilmesidir. Olayların kesin olmadığı, ancak gerçekleşme olasılıklarının bilindiği varsayılmaktadır.

Russell ve Ranasinghe (1992) ve Kakimoto ve Seneviratne (2000b) belirsizliklerin varlığındaki YİD projelerinin yatırım fırsatlarını analiz etmek için analitik bir yöntem kullanarak finansal modeller geliştirdiler<sup>93</sup>. Abdel Aziz (2000) ayrıca analitik bir model geliştirmiştir<sup>94</sup>. Analitik yöntem matematiksel olarak titiz olmasına rağmen, pratik uygulamada sınırlandırılmıştır. İstatistiksel momentleri tahmin etmek için olasılık teorisinin ileri bilgisi gerekmektedir<sup>95</sup>.

### **3.2.1.2. Simülasyon**

Simülasyon, proje değerlendirilmede riski dikkate alan, rastgele örnekleme yöntemine dayanan olasılık teorisini kullanan yaklaşımların önemli bir dalıdır. Simülasyon,

---

<sup>93</sup> A.D. Russel ve M. Ranasinghe (1992). Analytical approach for economic risk quantification of large engineering projects. *Construction Management and Economics*, 10, 207-301; R. Kakimoto ve P.N. Seneviratne (2000b). Investment risk analysis in port infrastructure appraisal. *Journal of Infrastructure Systems*, 6(4), 123-129.

<sup>94</sup> A.M. Abdel Aziz (2000). *Generalized Economic model, risk analysis framework and decision support system for analysis and evaluating capital investment projects*. Ph.D Thesis. Canada: British Columbia University.

<sup>95</sup> Islam (2008), s. 34.

önceden belirlenmiş olasılık dağılımları ve rastgele sayıda çıktı aracılığıyla projenin beklenen değerini ve riskini tahmin etmeye çalışan istatistik temelli bir yöntemdir<sup>96</sup>.

Simülasyon yöntemi, analizi zor ve karmaşık olan büyük projeler ve çok sayıda değişkenden etkilenen projelerin değerlendirilmesinde nakit akışlarını hangi değişkenin ne kadar etkilediğini olasılık dağılımlarıyla belirlemesi ve nakit akışlarını etkileyen değişkenlerin ayrı ayrı değil de eş zamanlı etkisini göstermesi sebebiyle projenin daha iyi analiz edilmesini sağlar<sup>97</sup>. Ancak, nakit akışlarını etkileyen faktörleri ve varsa birbirleri arasındaki ilişkileri belirlemek oldukça zor, zaman alıcı, uzmanlık isteyen ve pahalı bir iştir. Üstelik sonuçlar tahmin edilen olasılıklar ve belirlenmiş faktörler arasındaki ilişkiler baz alınarak neticelendirildiği için, ancak bu tahminler kadar gerçeği yansıtabilir<sup>98</sup>. Ayrıca, değişkenleri birbirine bağlı projelerin simülasyon yöntemi ile değerlendirilmesi zordur. Dolayısıyla bu yöntemin değişkenleri birbirinden bağımsız projelerin değerlendirilmesinde etkin sonuç verdiği söylenebilir. Projenin net nakit akışları hesaplanırken risksiz faiz oranını dikkate alması ve projenin kabul veya reddedilmesi konusunda kesin bir cevap vermemesi simülasyon yönteminin diğer dezavantajlarıdır<sup>99</sup>. Ayrıca iskonto oranına riskin eklenmesi NPV'nin olması gerekenin çok altında bir değerle sonuçlanmasına neden olacaktır<sup>100</sup>.

Yatırım projelerinin seçiminde ve değerlendirilmesinde, proje ile ilgili nakit akışlarının izlenmesinde istatistiksel yöntemlerden ve optimizasyon yöntemlerinden sıkça yararlanılmakta olup, son yıllardaki çalışmalar incelendiğinde, özellikle simülasyonu kapsayan çalışmalar arasında, sermaye bütçelemesine belirsizliği katacak bir yatırım karar yöntemi öneren Kuchta (2000); belirsizlik altında yatırım proje kararlarının modellenmesinde bulanık kümeleri ve Olasılık teorisini kullanan Mohamed ve McCowan (2001); Monte Carlo simülasyon yöntemine dayalı olarak proje riskini analiz eden Hacura vd. (2001); bulanık sayılar ile rasgele sayıların kullanımının sermaye bütçelemesi açısından karşılaştırmasını ortaya koyan Kahraman vd. (2002); belirsizlik altında yatırım alternatiflerinin karşılaştırılmasında ve çeşitli mühendislik ekonomisi problemlerinin çözümünde simülasyon yazılımlarının kullanılmasını öneren

<sup>96</sup> L.J. Gitman (1989). *Basic managerial finance*. (2. Edition). New York: Harper&Row Publishers, s.472.

<sup>97</sup> R.R. Levary ve N.E Seitz (1990). *Quantitative methods for capital budgeting*, Cincinnati: South-Westren Publishing Co., s.223.

<sup>98</sup> B.H. Moshe (1987). *Essentials of corporate finance*. Boston: Allyn and Bacon, Inc., s. 258.

<sup>99</sup> Moshe (1987), s. 258.

<sup>100</sup> G.E. Pinches (1990). *Essentials of financial management*. (3. Edition). New York: Harper&Row Publisher, s.278.

Coates ve Kuhl (2003); simülasyon ve çok kriterli karar verme prosedürü ile yatırım projelerini değerlendiren Nowak (2005); bulanık sayılar ve genetik algoritmaya dayalı simülasyon yöntemi ile yatırım projelerinin optimal seçimini içeren Huang (2007); proje risk değerlemesinde bulanık verileri olasılık dağılımlarına dönüştürerek simülasyon yöntemiyle risk analizi yapan Rebiasz (2007); yatırım projelerinin değerlendirilmesinde ve birden fazla proje amacının optimize edilmesinde simülasyon ve yanıt yüzey metodolojisini kullanan Armaneri ve Yalçınkaya (2008) çalışmaları yer almaktadır<sup>101</sup>.

Aşağıdaki bölümlerde belirsizliklerin varlığında YİD projelerindeki yatırımların değerlendirilmesi içinde (Monte Carlo simülasyonu ve Latin Hypercube simülasyonu) örnekleme dayalı olasılık yaklaşımlarının kullanım alanlarından bahsedilmektedir.

Olasılık teorisinin kullanıldığı risk analiz yöntemlerinden, özellikle Monte Carlo simülasyonu pek çok araştırmacı tarafından YİD projelerindeki risklerin büyüklüklerinin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır<sup>102</sup>. Ayrıca, Malini (1999), Javid ve Seneviratne (2000), Kakimoto ve Seneviratne (2000b), Logan (2003), Ye ve Tiong (2003), Lianyu ve Tiong (2005), Shen ve Wu (2005), ve Zhang (2005) belirsizliklerin varlığında YİD projelerindeki yatırımı değerlendirmek için Monte Carlo simülasyonu kullanmıştır. Araştırmacılar Monte Carlo simülasyonunu bilgisayar sistemlerinin uygunluğu nedeniyle tercih etmişlerdir. Dahası, simülasyon büyük ölçekli ve karmaşık problemleri çözmeye yeteneğine sahiptir<sup>103</sup>.

---

<sup>101</sup> D. Kuchta (2000). Capital budgeting. *Fuzzy Sets and Systems*. 111, 367-385.; S. Mohamed ve A. K. McCowan (2001). Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory. *International Journal of Project Management*. 19, 231-241.; A. Hacura vd. (2001). Risk analysis in investment appraisal based on the Monte Carlo simulation technique. *The European Physical Journal B*, 20, 551-553.; C. Kahraman vd (2002), 57-76.; E.R. Coates ve M.E. Kuhl (2003). Using simulation software to solve engineering economy problems. *Computers & Industrial Engineering*, 45, 285-294.; M. Nowak (2005). Investment projects evaluation by simulation and multiple criteria decision aiding procedure. *Journal of Civil Engineering and Management*., 11(3), 193-202.; X. Huang (2007), 149-159.; B. Rebiasz (2007). Fuzziness and randomness in investment project risk appraisal. *Computers & Operations Research*, 34, s. 199-210.; Ö. Armaneri vd. (2008). Proje risk düzeyinin belirlenmesi için simülasyonu ve bulanık kümeler teorisini temel alan bütünleşik bir yaklaşım. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), s. 223-239.

<sup>102</sup> J. Bennet ve R. Ormerod (1984). Simulation applied to construction projects. *Construction Management and Economics*. 2(3), 225-263.; R. Tummala ve J.F. Burchett (1999). Applying a risk management process (RMP) to manage cost risk for an EHV transmission line project. *International Journal of Project Management*. 17(4), 223-235.; D. Özdoğan ve M.T. Birgönül (2000). Decision support framework for project sponsors in the planning stage of build/operate/transfer (BOT) projects. *Construction Management and Economics*, 18(3), 342-35.3; D. Nasir vd. (2003). Evaluating risk in construction-schedule model (ERIC-S): Construction schedule risk model. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), 518-527.

<sup>103</sup> Wibowo ve Kochendorfer (2005), s. 963-972.

Latin Hypercube simülasyonu derecelendirilmiş segmentlerin bir dizi içindeki girdi değişkeninin olası aralığını ayıran rastgele örnekleme tekniğidir ve her bir değişken için sadece bir kez ilgili segmenti örnekler<sup>104</sup>. Wibowo ve Kochendorfer (2005) belirsizliklerin varlığında bir YİD projenin finansal sonuçlarını analiz etmek için Latin Hypercube simülasyon uygulamasını göstermiştir<sup>105</sup>.

### 3.2.2. Bulanık küme teorisi

Olasılık teorisi, bilginin eksikliğinden, elde bulunmamasından kaynaklanan belirsizlik türleri ile düzenli tekrar eden veya etmeyen rastlantısal durumları ele almada yeterli araçlara sahiptir. Bu nedenle eksik bilginin veya rastlantısal olayların bulunduğu alanlarda kaçınılmaz olarak olasılık teorisi kullanılır. Fakat bilginin kesin olmaması, ya da bilginin içeriği ile ilgili belirsizliğin bulunduğu durumlarda olasılık teorisi zayıf kalır. Alternatif çözümün bulunmadığı bu tip bir durumda olasılık teorisi, kesin olmayan bilgiye hiç yokmuş gibi davranır. Bulanık küme teorisi, belirsiz bilginin gösterimi ve işlenmesinde olasılık teorisine ve ikili lojiğe tamamlayıcı olarak ortaya atılmıştır<sup>106</sup>. Bulanık küme teorisi belirsizliklerle uğraşan olasılık yaklaşımlarından tamamen farklıdır. Bulanık küme teorisi tutarsızlıktan ve kararsızlıktan kaynaklanan belirsizliği kabul eder<sup>107</sup>. Bulanık küme teorisi, belirsizliğin belirsiz olmayan bölümlerini ele almada yeterli teoriye ve araçlara sahiptir.

Avantajları; olasılık yaklaşımları ile karşılaştırıldığında, bulanık küme teorisinin temel avantajı daha küçük bir veri setleriyle iyi çalışmasıdır. Kesin olmamaya yol açan bazı problemler için iyi çözüm olarak görülür. Sağladığı en büyük fayda ise, “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur<sup>108</sup>.

Genel olarak bir projenin finansal ve ekonomik analizinde bulanık küme teorisinin kullanımını keşfeden birkaç araştırmacı şunlardır<sup>109</sup>; Chiu ve Park (1994), Kuchta

<sup>104</sup> Islam (2008), s. 35.

<sup>105</sup> Wibowo ve Kochendorfer (2005), s. 963-972'den aktaran Islam (2008), s. 35.

<sup>106</sup> L.A. Zadeh (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*. 8 (3), 338-353.

<sup>107</sup> Islam (2008), s. 35.

<sup>108</sup> B. Kasko (1991), *Neutral networks and fuzzy systems*, Prentice Hall, s.165.

<sup>109</sup> C.U. Chiu ve C.S. Park (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*, 39(2), 113-138.; D. Kuchta (2001). A fuzzy model for R&D project selection with benefit, outcome and resource interactions. *The Engineering Economist*, 46(3), 164-180.; C.

(2001), Kahraman vd. (2002). Ayrıca YİD projeleri kapsamında, Kangari (1988) geliştirdiği bütünleşik bilgi tabanlı uzman sistem modelinde, Paek vd. (1993) ihale teklif fiyatını belirleyen destek sisteminde, Carr ve Tah (2001) gibi araştırmacılarda geliştirdikleri risk değerlendirme yazılımı kapsamında bulanık küme teorisini, risklerin ölçülmesi amacıyla kullanmışlardır<sup>110</sup>.

Buna ek olarak, Islam (2008), bulanık küme teorisinin belirsizliklerin varlığındaki YİD projelerindeki yatırımı değerlendirmek için etkili olduğunu ve hesaplama verimi olduğunu, YİD projelerinde karşılaşılan risklerin sistematik olarak değerlendirilmesine ve nesnel bilginin nicel yöntemlerle değerlendirilmesine olanak sağladığını savunmuştur<sup>111</sup>. Ayrıca, eğer yeterli veri varsa, bulanık küme teorisi kullanmak makul değildir.

### 3.2.3. Olasılıklı yaklaşımlarla bulanık küme teorisinin karşılaştırılması

Önceki bölümlerde birkaç araştırmacı belirsizliklerin varlığındaki YİD projelerindeki yatırımı değerlendirmek için bulanık küme teorisini kullanırken, birçok araştırmacının olasılıksal yaklaşımları (özellikle simülasyon) kullandığı gösterilmiştir.

Olasılık teorisine dayalı risk yönetim modelleri bazı araştırmacılar tarafından (Kangari ve Riggs 1989; Baloi ve Price, 2002) eleştirilmektedir<sup>112</sup>. Olasılık teorisine dayalı risk yaklaşımlarına ilişkin ilk eleştiri bu yaklaşımların detaylı nicel bilgiye ihtiyaç duyması ile ilgilidir. Risk analiz modellerinde nicel bilginin sınırlı olması kesin kararın alınmasını güçleştirmektedir. Bir diğer eleştiri problemlerdeki belirsizliğin tam olarak tanımlanamaması ile ilgilidir. Çünkü bu belirsizlikler klasik modellerde ele alınamayan nesnel bir değerlendirmeyi gerektirir. Son eleştiri, olasılık teorisi ile belirsizlik analizinde rastgelelik ilkesinin göz önüne alınmaması ile ilgilidir. Çünkü belirsizliklerin hiç biri rasgele değildir.

---

Kahraman vd. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*, 141(1), 57-76.

<sup>110</sup> R. Kangari (1988). Construction risk management. *Civil Engineering Systems*, 5, s. 114-12.0; J.H. Paek vd. (1993). Pricing construction risk: fuzzy set application. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 119(4), 743-756.; V. Carr ve J.H.M. Tah (2001). A fuzzy approach to construction Project risk assessment analysis: Construction project risk management system. *Advances in Engineering Software*, 32, s. 857-857.

<sup>111</sup> Islam (2008), s. 35.

<sup>112</sup> R. Kangari ve L.S. Riggs (1989). Construction risk assessment by linguistics. *IEEE Transactions on Engineering*, 36(2), 126-131.; D. Baloi ve A. Price (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, 21(4), 261-269.

Belirsizliklerin varlığında YİD yatırım karar verme yöntemlerinden bulanık küme teorisi ve olasılıksal yaklaşımlar Tablo 2’de karşılaştırılmıştır.

*Tablo 2. Olasılıksal Yaklaşımlarla Bulanık Küme Teorisinin Karşılaştırılması*

	Olasılıksal yaklaşımlar	Bulanık küme teorisi
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bilgisayar programlarıyla kolay uygulanabilir</li> <li>-Büyük ölçekli ve karmaşık problemleri çözmede yeteneklidir</li> <li>-Sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda elverişlidir</li> <li>-Kullanım çokluğu</li> <li>-Nicel bilginin olmadığı durumlarda faydalıdır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kesin olmayan verilerle daha iyi çalışır</li> <li>-İnsan kararlarını uygulamada daha temsilcidir, algıya dayalı bilgiyi işler</li> <li>-Belirsizlik; kümenin sınırlarının kesin olarak tanımlanmasıyla ilgilidir</li> </ul>
Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eksik veri tanımlamaları yanlış tahminlemeye neden olabilir.</li> <li>-Algıya dayalı bilgiyi işleyemez</li> <li>-Belirsizlik rasgelelik kavramıyla açıklanır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesin bilgi var olduğunda çok az ya da hiç değer ekleyemez</li> <li>-öğrenme yeteneği yoktur</li> <li>-Karmaşık yapı gerektirir</li> <li>-Yüksek derece uzmanlık bilgisi gerektirir</li> <li>-Belirsizlik uzmanlık bilgisiyle açıklanır</li> </ul>

Tablo 2’ de olasılıksal yaklaşımların ve bulanık küme teorisinin bazı özel avantajları ve dezavantajları detaylandırılmıştır. Simülasyon yaklaşımına yapılan eleştirilerden biri olasılıkların belirlenmesinin uzmanlık bilgisi gerektirdiğidir, fakat bulanık küme yaklaşımında, belirsizliğin ifade edilmesi nicel bilginin sayısallaştırılması da yüksek derecede uzmanlık bilgisi gerektirir. Diğer bir eleştiri, belirsizliğin rasgelelik kavramıyla açıklandığıdır, aksine simülasyonda belirsizlik olasılıklarla açıklanır, aslında bulanık yaklaşımdaki üçgen sayılar belirsizliği açıklamada yetersizdir. Ayrıca, nesnel bilgideki belirsizliği açıklamanın uzman bilgisinden başka bir yolunun olmaması rasgeleliği gerekli kılmaktadır.

İlaveten, kullanım kolaylığı ve pek çok araştırmacının tercihi olması sebebiyle simülasyon yaklaşımı seçilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde, seçilen risk analiz yönteminin temelleri ve YİD projelerine yapılan yatırımların değerlendirilmesindeki belirsizlikleri belirleyen mekanizmaların nasıl çalıştığı ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

### 3.3. Optimizasyon Yöntemleri

#### 3.3.1. Optimizasyon problemi standart yapısı ve formüle edilmesi

Optimizasyon, bir problem için belirli koşullar altında mümkün olan alternatifler içinden en iyisini seçmeyi amaçlamaktır. Matematiksel olarak optimizasyon, bir fonksiyonun amacına uygun olarak maksimize veya minimize edilmesi yani kısıtlar içinde amaç fonksiyonunun en iyi değerini veren değişkenlerin değerinin bulunmasıdır.

Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet en azaltılması, kâr en çoklanması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en çoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır<sup>113</sup>.

Ekonomik sistemlerin matematiksel modellerinde ve optimizasyonunda kullanılan elemanları üç ana grupta toplamak mümkündür:

- Amaç fonksiyonu
- Karar değişkenleri
- Kısıtlar

Bir karar verme durumunda, değerleri kontrol edilebilen ve sistemin performansını etkileyen değişkenler belirlenir. Bu değişkenler karar değişkenleri olarak tanımlanırlar. Bir üretim sisteminde farklı ürünlerin üretilecek miktarları, bir yerden başka yere taşınacak ürün miktarı, işçi sayısı, makina sayısı vb. karar değişkenlerinin asıl amaç üzerindeki etkilerinin analitik olarak gösterilmesiyle amaç fonksiyonu oluşturulur. Bu tanımlamanın ardından karar değişkenlerine bağlı olarak amaç fonksiyonu (maksimizasyon/minimizasyon) ve fonksiyonu sınırlayan kısıtlar belirlenir. Kısıtlar eşitlik ve eşitsizlik şeklinde formülasyon içerisinde yer alabileceği gibi, değişkenlerin alamayacağı değerleri ifade ederler. Kısıtlar, sistemin içinde bulunduğu koşullardan kaynaklanmaktadır (talep kısıtları, kapasite kısıtları gibi).

<sup>113</sup> S.I. Gass (2000). *Making decisions with precision*. Business Week October 30, ([http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign\\_id=search#B37051](http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B37051)), (Erişim Tarihi: 1 Şubat 2010), s. 39.

Bir optimizasyon probleminin genel bir matematiksel gösterimi şöyledir:

Burada  $x$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  n tane karar değişkeni içeren optimizasyon probleminin çözüm vektörüdür,  $x_i$ , i. karar değişkeninin değerini gösterir.  $f(x)$  fonksiyonunun maksimize veya minimize olması (3.1) aşağıdakilere bağlıdır.

Amaç fonksiyonu  $f(x)$ ,

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

$$g_j(x) = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad j=1,2,\dots,m \quad 1 \leq j \leq m \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanan m tane eşitsizlik kısıtına ve

$$h_k(x) = h_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad 1 \leq k \leq p \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanan p tane eşitlik kısıtına sahip olabilir.

$$x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)} \quad i=1,\dots,n \quad (3.4)$$

Karar değişkenleri, amaç fonksiyonunu (denklem 3.1) karakterize eden niceliklerdir ve henüz bunların değerleri bilinmezdir. Karar değişkenleri değişken sınırları tarafından genellikle kısıtlandırılmıştır, kısıtlı bütün  $x_i$  karar değişkenleri bir alt sınır ve üst sınır arasında değer alır (denklem 3.4). Karar değişkeninin bu üst ve alt sınırı, karar değişkenlerinin bulunma uzayında veya kısaca D karar uzayında tanımlıdır. “j” eşitsizlik kısıtlamaları (denklem 3.2) ve “k” eşitlik kısıtlamaları (denklem 3.3) yukarıdaki problemi karakterize eder. Optimizasyon problemlerinde tüm kısıtları sağlayan olası tüm çözümlerin oluşturduğu bölge çözüm için araştırma yapılabilecek olan uygun çözüm alanı olarak düşünülür ve S denir. S uygun çözümlerin kümesi içerisinde yer alan optimum çözüm ( $O^*$ ), amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize eden en iyi çözümdür, başka bir ifadeyle  $O^* \subseteq S \subseteq D$  olması gerekir.

Optimizasyon problemleri çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilir ve oluşan model türleri aşağıdaki gibidir:

- Eğer karar değişkenleri üzerinde hiçbir sınırlama yoksa kısıtsız modeller ortaya çıkar, en azından bir sınırlama olması kısıtlı modelleri ortaya çıkarır. Gerçek hayatta genellikle kısıtlı problemler karşımıza çıkar.
- Eğer problem tek bir dönem için çözülecekse statik model, birden fazla dönem göz önüne alınarak çözülecekse dinamik model ortaya çıkar.
- Eğer birden fazla amaç varsa çok amaçlı problemler ortaya çıkar.
- Eğer tüm karar değişkenleri pozitif reel değerler alıyorsa sürekli optimizasyon problemi söz konusudur.

- Tüm karar değişkenlerinin tamsayı değerler alması gerekiyorsa kesikli optimizasyon problemi ortaya çıkar.
- Bazı karar değişkenlerinin reel, bazılarının tamsayı değer alması durumunda ise karışık kesikli optimizasyon problemi ile karşılaşırız.
- Eğer karar değişkenlerinin kombinatorial seçenekleri yani ayrıklık söz konusuysa kombinatorial optimizasyon problemleri ortaya çıkar. Karışık sürekli ayrık optimizasyon ve karışık kesikli ayrık optimizasyon olarak karma modeller vardır. Matematiksel model türlerine göre kullanılan çözüm yaklaşımları:
- Dinamik modeller için kullanılan yaklaşım dinamik programlamadır.
- Eğer optimize edilecek birden fazla amaç varsa genellikle kullanılan yaklaşım hedef programlamadır.
- Modeldeki tüm fonksiyonların doğrusal olması durumunda sürekli optimizasyon problemleri doğrusal programlama yöntemi ile çözülür. Sürekli optimizasyon modelinde en azından bir fonksiyonun doğrusal olmaması durumu varsa doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanılır.
- Eğer kesikli optimizasyon problemlerinde karar değişkenleri herhangi bir tamsayı değer alıyorsa tam sayılı programlama yöntemi kullanılır.
- Amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrusal ve bazı değişkenler tamsayı, bazı değişkenler sürekli ise, model karışık tam sayılı doğrusal programlamayla çözülür. Dal sınır algoritmaları ve kesen yüzeyler yöntemleri kullanılır<sup>114</sup>.
- Amaç fonksiyonlarında veya kısıtlarda doğrusal olmama durumu varsa ve değişkenlerin bazıları tamsayı, bazıları sürekli özellik gösteriyorsa en iyi çözümün Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartlarına uyması gereklidir. Bu şartların teorik anlamları iki ayrı çalışmada verilmiştir<sup>115</sup>. Ayrıca, çözümlerin hem KKT şartlarına uyması hem de tam sayılı kısıtları yerine getirmesi gereklidir. Bu problemlerin çözümünde en yaygın olarak kullanılan çözüm metotlarından birisi dışsal yaklaşımlardır<sup>116</sup>. Tamsayı-karışık doğrusal olmayan programlama problemlerinin

<sup>114</sup> M. Türkay (2011). *Optimizasyon modelleri ve çözüm metotları*.

<http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf> . ( Erişim Tarihi: 04.03 2011), s. 10.

<sup>115</sup> W. Karush (1939). *Minima of functions of several variables with inequalities as side conditions*. M.Sc Thesis. Chicago: Department of Mathematics, University of Chicago, IL.; H.V. Kuhn ve A.W. Tucker (1951). *Nonlinear programming*. (Editör: J. Neyman, Proc. Second Berkeley Sympos). Math. Statist. Probab. University of California Press, Berkeley, CA, 481–492.

<sup>116</sup> M.A. Duran ve I.E. Grossmann (1986). An Outer-Approximation Algorithm for a Class of Mixed-Integer Nonlinear Programs, *Mathematical Programming*, 36, 307-339.; J. Viswanathan ve I.E.

çözümü için diğer yaklaşımlardan en yaygın olanları arasında mantık tabanlı metotlar, dal-sınır algoritmaları, dal-ve-kes algoritmaları, genellendirilmiş Benders ayrıştırma metodu sayılabilir<sup>117</sup>. Fazla çalışma zamanı ve işlemlerin karmaşıklaşmasından dolayı orta ve büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülmesi gerekmektedir.

- Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin belirli bir boyuta kadar olanı tam sayılı programlama yöntemi ile çözülürken, orta ve büyük boyutlu problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülmesi gerekmektedir.

Aşağıdaki bölümde farklı optimizasyon yöntemleri özetlenmiştir. Detaylı çalışma usulünden daha çok, tartışmanın odağı, göreceli avantajlar ve dezavantajlar ile her yaklaşımın ardındaki fikri canlandırmaktır. Buradaki amaç, YİD projelerinin imtiyazlı öğelerinin değerlerini belirlemede bu yöntemlerin uygunluğunu incelemektir.

### 3.3.2. Matematiksel programlama modelleri

Optimizasyon, hayatın hemen her alanında gerekliliği kaçınılmaz bir kavram olup, kazancı maksimize veya kaybı minimize etmeyi hedefler. Bu amaç için birçok yöntem kullanılabilir. Şayet kullanılan yöntem (veya algoritma) parametreleri belli bir probleme her uygulandığında aynı sonucu veriyorsa, bu tür yöntemlere deterministik yöntemler denir. Deterministik yöntemler, genellikle en iyi tek bir çözüm için kodlanırlar.

Matematiksel programlama yöntemleri optimizasyon problemlerinin çözümü için kesin sonuçlar veren yöntemlerdir. Analitik çözümler olarak da adlandırabileceğimiz doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama, amaç fonksiyonunun ve ilişkili kısıtlamaların matematiksel ilişkilerine dayanan matematiksel programlamanın iki geniş kategorisidir.

#### 3.3.2.1. Doğrusal programlama

Doğrusal programlama, iyi tanımlanmış doğrusal eşitliklerin veya eşitsizliklerin kısıtlayıcı koşulları altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu en iyi (optimum/maksimizasyon-minimizasyon) kılan değişken değerlerinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel programlama yöntemidir.

---

Grossmann (1990). A combined penalty function and outer-approximation method for MINLP optimization. *Compt. Chem. Eng.*, 14, 769-782.'den aktaran Türkay (2011), s. 14.

<sup>117</sup> Türkay (2011), s. 14-15.

Doğrusal programlamanın matematiksel temsili aşağıdaki gibidir;

$$\text{Maximize } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.5)$$

Kısıtlar:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (3.6)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3.7)$$

:

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (3.8)$$

$$x_n \geq 0 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3.9)$$

Karar vericinin denetimi altında olan niteliklere karar değişkenleri denir. Bunlar modele ilişkin bilinmeyenler olup değerleri modelin çözümünden sonra belirlenir. Burada  $x_n$  terimi,  $n$ ' inci karar değişkenini temsil eder. Karar değişkenine örnek olarak, "belirli bir zaman döneminde ürünün üretim miktarı" verilebilir.

Karar vericinin ulaşmak istediği hedef, doğrusal bir denklem ile amaç fonksiyonunda açıklanır. Amaç fonksiyonu olarak bilinen bu denklem, karar değişkenleri ile karar vericinin amacı arasındaki fonksiyonel ilişkiyi gösterir.

Alabileceği değerlerde karar vericinin hiçbir etkisi olmayan niteliklere parametre veya kontrol dışı değişkenler denir. Belirli koşullarda belirli değerler alan parametreler problem için veri durumundadır. Yukarıdaki ifadedeki " $C_n$ " terimi,  $n$ 'inci karar değişkeninin amaç fonksiyonu katsayısını (parametre)-(birim kar, birim fiyat, birim maliyet vs.) temsil eder; " $a_{mn}$ " terimi,  $n$ 'inci üründen bir birim üretmek için  $m$ 'inci kaynaktan tüketilen kaynak miktarı veya girdi katsayısıdır. " $b_m$ " terimi elde bulunan  $m$ 'inci sınırlı kaynak miktarıdır ya da  $m$ 'inci kısıtlamanın üst sınırını belirtir.

Karar değişkenleri ve parametrelerin birbirleriyle sağlaması zorunlu olan ilişkilerin matematiksel olarak açıklanmasıyla elde edilen denklemlere kısıtlayıcı fonksiyonlar denir. Kısıtlayıcıların değerleri kesin olarak önceden belirlenmiş olup sistemin tanımlanmasında kullanılır. Kısıtlayıcı fonksiyonlar sadece kaynakların sınırlarını değil, gereksinim ve yönetim kararlarını ifade etmekte de kullanılır.

Bazı araştırmacılar sermaye bütçeleme problemlerini çözmek için doğrusal programlamayı kullanmışlardır. Grinold (1972) bir projenin ödeme zamanlama

sorununu çözmek için doğrusal bir program geliştirmiştir<sup>118</sup>. Bakatjan vd. (2003) bir YİD projesinin en uygun sermaye yapısını tanımlamak için doğrusal programlamayı kullandılar. Yazarlar hem amaç fonksiyonunu hem de kısıtlamaları formüle etmek için karar değişkeni olarak sadece bir yatırım unsurunu (yani, borç-öz sermaye oranı) ele almışlardır.

Doğrusal programlamanın önemli bir dezavantajı tamsayıyla veya ayrık değişkenler ile baş edememesidir. Bu nedenle, YİD projesi yatırım değerlendirmede zaman (yatırım yılı) bir karar değişkeni gibi görüldüğünden (bir tamsayı değişken şeklinde), doğrusal programlama kullanımı uygun olmayabilir<sup>119</sup>.

### 3.3.2.2. Doğrusal olmayan programlama

Problemin amaç fonksiyonu ve/veya kısıtları doğrusal fonksiyonlar değilse problem doğrusal olmayan programlama problemidir. Doğrusal olmayan programlamanın çarpıcı özelliği en az bir matematiksel fonksiyon (ya kısıt ya da amaç fonksiyonu) kendi niceliği ile doğrusal olmayan ilişkiye sahip olmasıdır. Doğrusal olmayan programlamada, problemin lagrange çarpanları, diferansiyel ve integral hesapları ile koşullu en iyi çözümünün bulunması için analitik çözümler kullanılır. Analitik çözümün çok zor veya imkansız olabilmesi durumunda algoritma çözümleri kullanılabilir. Yinelemeli olarak uygulanan algoritmalar her adımda optimuma daha yakın bir çözüme doğru ilerler.

Doğrusal olmayan problemlerin optimal çözümünü elde etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yaygın olarak kullanılan Aktif Kısıt Kümesi yöntemidir<sup>120</sup>. Doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümü için diğer yaklaşımlardan en yaygın olanları arasında indirgenmiş gradyan, ardışık karesel programlama, güvenli alan ve iç-nokta algoritmaları sayılabilir<sup>121</sup>.

Rennen vd. (2003) bir sermaye bütçeleme sorunu çözmek için doğrusal olmayan programlama yöntemini kullanmışlardır<sup>122</sup>. Hu ve Ziang (2001) bir sırt çantası sermaye bütçeleme sorununu çözmek için doğrusal olmayan programlama yönteminin bir türü

<sup>118</sup> R. C. Grinold (1972). The payment scheduling problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 19(1), 123-136'dan aktaran Islam (2008), s. 49.

<sup>119</sup> Islam (2008), s. 49-50.

<sup>120</sup> M. Türkay (2011), s. 9

<sup>121</sup> M.S. Bazaraa vd (2006). *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. (3. Baskı). New York: Wiley-Interscience'den aktaran Türkay (2011), s. 13.

<sup>122</sup> Islam (2008), s. 50

olan ikinci dereceden programlamayı kullanmıştır<sup>123</sup>. Uygulamada, doğrusal olmayan programlamaya dayalı bir optimizasyon problemi, matematiksel olarak çözümü zor olan doğrusal olmayan fonksiyonlar içerebilir. Basitleştirmek için, sık sık doğrusal olmayan fonksiyonların bir dizi içinde parçalı doğrusal fonksiyonlara dönüştürmek gibi matematiksel varsayımlar gereklidir. Dahası, doğrusal olmayan programlama tabanlı optimizasyon modelleri için çözüm algoritmaları yüksek dereceden problemlerdir<sup>124</sup>.

### 3.3.3. Meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri

Deterministik yaklaşımlar her durum için, kaynaklar nedeniyle mümkün olmayabilir. Bu tür durumlarda bir yaklaşım olarak deterministik olmayan yöntemlerin kullanımı ele alınabilir. Deterministik olmayan yaklaşımlar, aynı durum için farklı çalışmalarında aynı sonucu garanti etmeyen yöntem veya algoritmalarıdır. Meta Sezgisel (meta-heuristic) yöntemler bağımsız bir yönelem araştırması yöntemi olarak en iyi çözümü garanti etmemekle birlikte, denenmesi gereken ihtimallerin çok fazla olduğu durumlarda, daha az deneme ile "iyi" bir çözüm önermek amacıyla kullanılırlar. Sezgisel yöntem, iyi yani en iyi çözüme yakın çözümleri araştıran bir yöntemdir.

Genel olarak kesin sonuç veren yöntemler amaç fonksiyonun karakteristiklerine bağlıdır. Ayrıca doğrusal programlama formülasyonları genelde problemi tam olarak yansıtamazlar. Bu nedenle sadece belirli örneklerde veya küçük problemlerde kullanılabilirler<sup>125</sup>. Bu sebeple meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri matematiksel programlama zorluklarını gölgede bırakmıştır.

Meta-sezgisel yöntemler çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için, farklı yapılarıdaki alt kademe sezgisel algoritmaların zekice birleştirilmesi ile oluşturulmuş iteratif problem çözme süreçleridir. Bu yöntemler, lokal minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleridir ve her adımda bir çözümden veya çözüm topluluğundan yola çıkarak yeni çözümler üretirler. Çoğu metasezgisel yaklaşım çözüm uzayında stokastik fakat bilinçli bir şekilde arama yapar. Bu yöntemlerin dezavantajı algoritma içinde bir durdurma kriterinin bulunmayışı, yani algoritmanın ne zaman duracağını bilmemesidir.

<sup>123</sup> Islam (2008), s. 50

<sup>124</sup> R. A. Sarker ve C.S. Newton (2008). *Optimization modelling: A practical approach*. CRL Press, FL'den aktaran Islam (2008), s. 50.

<sup>125</sup> M. Held ve R.M.A Karp (1962). Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 10, 196-210.

Pratikte doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini kesin çözüm veren yöntemlerle çözmek mevcut bilgisayarların hesaplama süresinden dolayı uygun olmasa da bunların geliştirilmesi bazı nedenlerden dolayı haklı gösterilebilir. Sezgisel yöntemlerin incelenmesi ve verimliliklerinin kıyaslanması için optimal çözümlerin bulunması oldukça yararlıdır. Ayrıca kesin çözüm veren yöntemler belirli bir süre sonra durdurularak sezgisel yöntem gibi kullanılabilir.

Projenin karmaşık ve büyük ölçekli olması gibi durumlar nedeniyle geleneksel yöntemlerle çözümü çok zor olan problemlerde karar değişkenlerinin optimum değerlerin başarıyla tahmin edilmesi çok önemlidir. Metasezgisel tabanlı optimizasyon algoritmaları gerçek hayattaki uygulamalara yeni bir bakış açısı kazandırmıştır<sup>126</sup>.

Aşağıdaki bölümlerde yatırım optimizasyon problemlerini çözüme alanında meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri olarak; Tavlama Benzetimi (SA), Tabu Arama (TA), Evrimsel Algoritmalar ve Karınca Kolonisi Sistemi (KKS) yöntemlerinin ayrıntılı tartışması sunulmuştur.

### 3.3.3.1. Tavlama Benzetimi

Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing) doğadaki durumlardan esinlenerek geliştirilen bir algoritmadır. Bu algoritmanın optimizasyon problemlerine uygulanması ile ilgili çalışmalar 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma ile başlamıştır<sup>127</sup>. Algoritma metallerin tavlama işlemi ile bir optimizasyon problemine çözüm araştırma olayları arasındaki benzerlikten ilham alınarak ortaya konulmuştur. Metallerde ısı işlemi (tavlama) uygulanarak malzemenin belirli bir sıcaklığa kadar erişmesi gerçekleşir malzeme sıvı hale gelir, bir süre bekledikten sonra (bekleme) sıcaklık oda sıcaklığına düşürülür (soğutma). Üç aşamada sayesinde malzemede özellik değişimleri sağlanır. Sıcaklık maksimumdayken soğutma işlemi uygun yapılırsa düzenli bir yapı ortaya çıkar. Optimal çözüm bu düzenli yapıya karşılık gelmektedir. Katının durumları ise optimizasyon probleminin muhtemel çözümlerine, durumların enerjileri de çözümlere ait amaç fonksiyon değerlerine karşılık gelmektedir<sup>128</sup>. SA algoritmasının temel prensibi tam olarak kötü çözümü seçme olasılığı sistemli bir şekilde sıcaklıkla

<sup>126</sup> H. Abdallah vd. (2009). Using Ant Colony Optimization algorithm for solving project management problems. *Expert Systems with Applications*, 36, s. 10004-10015.

<sup>127</sup> Karaboğa (2004), s. 27.

<sup>128</sup> Karaboğa (2004), 28.

azaltılır. Sıcaklık iterasyona bağlı (genellikle düzgün veya logaritmik azalan) bir ifadedir.

SA algoritması, fiziksel tavlama süreci ile kombinatoryal ayrık optimizasyon problemlerinin benzeşiminden ortaya çıkarılmış bir yöntemdir. SA yöntemi, karmaşık kombine problemlerin optimal çözümünde kapsamlı arama ve belli alanlarda yoğunlaşma arama tekniklerini kullanan, ardışık çözüme dayalı matematiksel çözüm yöntemidir<sup>129</sup>.

Etgar ve ark. (1996), bir proje çizelgeleme probleminde nakit akışlarının NPV'sini üst düzeye çıkarmak için Tavlama Benzetimi yöntemini başarılı bir şekilde uygulamıştır<sup>130</sup>.

Uygun sıcaklık tanımlamasındaki güçlük, algoritmanın yerel en iyiye takılmasına neden olur. Bu sebeple tavlama benzetiminin en önemli dezavantajlarından biri olarak bu kabul edilir. Bu kusura rağmen, Tavlama Benzetimi sadece küçük ölçekli sorunlara uygulanabilir; algoritma üssel olarak artarken problemin boyutunu artırır<sup>131</sup>.

### 3.3.3.2. Tabu Arama

TA, Glover (1989) tarafından kombinatoryal problemlerin çözümü için önerilmiş olan meta-sezgisel yöntemlerden biridir. Tabu Arama, Tavlama Benzetiminin benzeri bir yöntemdir. Lokal aramaya dayanan bu yöntem, ardışık çözümleri hafızada saklama ve çözüm eğilimini zamanla değiştirme özelliği ile bilinmektedir<sup>132</sup>. TA yönteminin temelini, komşuluk yapısı, hareketler, tabu listesi ve arzu edilme kriteri oluşturmaktadır. Hareketler, mevcut bir çözümden komşu bir çözümün üretilmesi işlemidir. Tabu listesi ise, yasaklanan hareketlerin oluşturduğu bir listedir ve bu listedeki bir harekete izin verilmez. TA işlemi, bir başlangıç çözümle başlar ve komşu çözümler arasında, amaç fonksiyon değerinde en fazla iyileşme sağlayan, diğer bir çözüme yasak olmayan bir hareketle devam eder. Tavlama benzetimine benzer olmasına rağmen, TA yöntemi

---

<sup>129</sup> D. Beasley (1993). An Overview of Genetic Algorithms; Part 1, Fundamentals. *Universty Computing* 15: 58-69.

<sup>130</sup> R. Etgar vd. (1996). Sheduling project to maxsimize net present value - case of time-dependent contingent cash flows. *European Journal of Operational Research*, 96(1), 90-96.

<sup>131</sup> Sarker ve Newton (2008)'den aktaran Islam (2008), s. 51.

<sup>132</sup> F. Glover (1989). Tabu search- part I. *ORSA Journal on computing*, 1(3), 190-206'den aktaran Islam (2008), s. 51.

yasaklama, yoğunlaşma ve yönlendirme teknikleri ile Tavlama Benzetiminden ayrılmaktadır<sup>133</sup>.

Icmeli ve Erengüç (1994) ve Goto vd. (1999) gibi araştırmacılar Tabu Arama kullanarak, proje nakit akışlarının NPV'sinin maksimizasyonu için kombinatoriyal optimizasyon sorunlarını çözmüştür<sup>134</sup>. Tabu Arama kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümünde yüksek etkiye sahiptir. Öte yandan, Tabu Arama'nın büyük dezavantajı, karışık sürekli tamsayı veya karışık sürekli ayrık optimizasyon problemleri gibi sürekli değişkenler içeren problemleri çözemez olmasıdır. Aslında, Tabu Arama sürekli bir etki alanı içinde komşuluk araması yapmada yeterli değildir<sup>135</sup>.

### 3.3.3.3. Evrimsel Algoritma

Evrimsel Algoritmalar doğanın biyolojik evriminden esinlenen nüfus tabanlı meta-sezgisel arama yöntemlerindedir. Evrimsel Algoritmalar formülize edilmişlere göre değişik isimlerle anılırlar: Genetik Algoritmalar, Genetik Programlama, Diferansiyel Evrim, Evrimsel Programlama, Evrim Stratejileri ve Genetik Programlama.

Belirli bir optimizasyon probleminin en iyi çözümünü bulmak için, genetik algoritmalar Darwin' in "güçlü olan hayatta kalır" prensibini takip eder. İlk Holland (1975), bilgi toplumuna genetik algoritmaları tanıtmıştır. Goldberg (1989) ve Michalewicz (1996) genetik algoritma metodolojilerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Doğadaki değişim süreçlerinin bilgisayar ortamında modellenmesine dayanan EA, çok büyük, karmaşık, sürekli ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan stokastik bir arama yöntemidir<sup>136</sup>. Hsieh ve Liu (2004), bir altyapı projesi yatırımında en uygun zamanlama dizileri bulmak için genetik algoritmalar kullanarak altyapı yatırım-optimizasyon sorununu çözüp tasarlamıştır<sup>137</sup>. Genetik algoritmaların her türlü

<sup>133</sup> E.Z. Başkent (2004). *Yöneylem araştırması, modelleme ve doğal kaynak uygulamaları*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel yayın No:218, Fakülte yayın No:36, KTÜ Matbaası, s. 480.; S.G. Ponnambalam vd. (2000). A Tabu Search Algorithm for Job Scheduling, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, 765-771.

<sup>134</sup> O. İcmeli ve S.S. Erengüç (1994). A tabu search procedure for the resource constrained project scheduling problem with discounted cash flows. *Computers and Operations Research*, 21(8), 841-853.; E. Goto vd (1999). Maximizing Net Present value for generalized resource constrained project scheduling problem. Summaries of technical papers of annual meeting architectural institute of Japan, F-1, Urban Planning, building economics and housing problems, 1135-1136.

<sup>135</sup> Sarker ve Newton (2008)'den aktaran Islam (2008), s. 52

<sup>136</sup> M. Kapanoğlu (2011). Genetik algoritmalar ders notları. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi.

<sup>137</sup> T. Hsieh ve H. Liu (2004). Genetic algorithm for optimization of infrastructure investment under time-resource constraints. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(3), 203-212.

optimizasyon problemlerini çözmeye yetenekli olduğu kabul edilir. Ancak, genetik algoritmalar bazı büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek için yavaş yakınsayabilir. Diferansiyel Evrim algoritması hızlı yakınsama davranışı gösterir. Bir YİD yatırım fırsatı optimizasyon probleminde karar değişkenleri belirli kısıtlar içerisindedir, gerçek değer kodlama yapılması gerekmektedir. Böyle durumlarda, DE algoritması iyi çalışmaktadır.

#### 3.3.3.4. Karınca Kolonisi

Karınca Koloni Sistemi (KKS) ilk olarak Dorigo vd (1991) tarafından kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümü için, genel bir meta-sezgisel yaklaşım olarak önerilmiştir<sup>138</sup>. Araştırmacılar, gerçek hayattaki karıncaların, yiyecek bulmak için kullandıkları yöntemleri, yapay karıncalar üzerinde uygulayarak kombinatoriyal optimizasyon problemlerine çözüm aramışlardır.

Doğadaki karıncalar kör olduklarından, koloniler halinde yiyecek toplamadaki yuvalarıyla besin kaynağı arasındaki en kısa yolu seçme mekanizmalarına göre algoritma oluşturulur. Karıncalar, yiyecek toplarken, geçmiş oldukları yollar üzerinde bir sıvı madde (iz-trial) bırakırlar. Bu madde uçucu olup belirli zaman sonra kaybolur. Belirli bir zaman aralığında belirli bir yoldan ne kadar çok karınca geçer ise iz miktarı o kadar fazla olur. Daha sonra, aynı yol üzerine gelen karıncalar kısa yolu, iz miktarına bağlı olarak seçerler. Diğer bir deyişle, bir karıncanın gidebileceği birden fazla yol olduğunda iz miktarı fazla olan yolu tercih eder. Karınca kolonisi optimizasyonu en kısa yol problemleri için karıncaların grup zekâsının taklit edilmesidir.

Shou (2006), bir kaynak proje çizelgeleme probleminin çözümü için karınca kolonisi optimizasyonunu çalıştırmıştır<sup>139</sup>. Araştırmacıların karınca kolonisi optimizasyonu ile optimizasyon problemlerinin çözümünde genellikle karşılaştığı iki pratik sorun yavaş yakınsama ve karmaşık kodlamadır<sup>140</sup>.

---

<sup>138</sup> M. Dorigo vd. (1991). Ant system for job scheduling. *Belgian Journal of Operations Research Statistics and Computer Science*, p.p. 321-323.

<sup>139</sup> Y. Shou (2006). An ant colony algorithm for improving the net present value of resource constrained projects. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(6), 478-483.

<sup>140</sup> D. E. Goldberg (1989). Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley,

### 3.3.4. Optimizasyon yöntemlerin karşılaştırılması

Bu bölümde, yatırım optimizasyon problemlerinin çözümü için farklı optimizasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Literatürde, YİD yatırım projesi modelleme alanında optimizasyon yöntemlerinin kullanımının maalesef çok nadir olduğu gözlenmiştir. Özellikle sponsorlar, hükümet kuruluşu ve borç veren kuruluş arasındaki çelişen finansal çıkarların belirlenmesine ve en iyi finansal sonuçlarının türetilmesine ihtiyaç olduğunda, YİD yatırım projesi modellenmesi bir optimizasyon problemidir.

Uygun bir optimizasyon yönteminin seçimi büyük ölçüde problemin karmaşıklığına ve boyutuna bağlıdır. Bir optimizasyon problemi aşağıdaki koşulların hepsini ya da bir kaçını kendi formülü içinde birleştirme ihtiyacı duyar: Tamsayı veya sürekli değişkenler, doğrusal olmama, belirsizlik, standart dışı fayda fonksiyonları, standart dışı ya da mantıksal kısıtlamalar ve çözüm şartları<sup>141</sup>. Öte yandan, problemin boyutu ya da ölçeği çözüm uzayının genişliğini ifade eder. Bir karar probleminin boyutu, karar değişkenlerinin kesikli ya da sürekli olması ve karar değişkenlerinin sayısı ile tanımlanır. Örneğin, tek karar değişkenli tamsayı bir optimizasyon probleminin boyutu, tek karar değişkenli ayrık optimizasyon probleminin boyutundan daha büyüktür.

Çözüm alanının kesikli yapıda olması ya da kısıt fonksiyonlarının doğrusal olmaması durumunda optimallik testi yapmak imkânsızlaşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı son dönem gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan yaklaşımlar arasında sezgisel yaklaşımlar oldukça önemli bir paya sahiptir.

Çalışmada daha önce sunulan optimizasyon yöntemlerinin göreceli güçlü ve zayıf yönleri aşağıdaki Tablo 3’de özetlenmektedir.

---

<sup>141</sup> Islam (2008), s. 53.

Tablo 3. Optimizasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

	Matematiksel Programlama	Meta-sezgisel Optimizasyon Yöntemleri			
		Tavlama Benzetimi	Tabu Arama	Evrimsel Algoritmalar	Karınca Kolonisi Sistemi
Avantajları	Matematiksel olarak titiz çalışma gerektirir Kesin sonuç sağlar Optimal sonuçlar verebilir	Kombinatoriyal problemlerde iyi performans gösterir. Yerel arama yapar. Hızlı yakınsama Büyük boyutlu problemleri çözebilir.	Kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde yüksek etkinliğe sahiptir. İyi yakınsama hızı	Kombinatoriyal, karışık sürekli tamsayılı optimizasyon problemlerini çözebilir. Global arama yapar. Büyük boyutlu problemlerle başa çıkmada uzmandır Güçlü çözümler sunar	Kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi bir seçimdir.
Dezavantajları	Sadece küçük boyutlu problemlere uygulanabilir. Çok spesifik çözüm algoritmaları vardır. Karmaşık problemin basitleştirilmiş formülasyonunu gerektirir	Kontrol parametrelerini tanımlamak zordur. Sürekli/karışık sürekli tamsayılı optimizasyon problemleri için uygun değildir Küçük boyutlu optimizasyon problemlerine uygulanabilir	Sürekli/karışık sürekli tamsayılı optimizasyon problemleri için uygun değildir.	Bazı büyük boyutlu problemler için yavaş yakınsama verebilir	Karmaşık kodlamaları içerir. Diğer meta sezgisel yöntemlere göre daha yavaş yakınsama hızına sahiptir.

**Kaynak:** Islam, 2008:54.

Tablo 3’de görüldüğü gibi matematiksel programlama yöntemleri küçük boyutlu optimizasyon problemlerini çözmeye oldukça iyidir. Matematiksel programlama tabanlı optimizasyon modelleri birçok durumda, gerçek dünya sorunlarının basitleştirilerek formüle edilmesine gerek duyar. Bu zorluk sebebiyle araştırmacılar büyük ölçekli ve karmaşık sorunları çözmek için meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanmışlardır.

Meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri; Tavlama Benzetimi, Tabu Arama ve Karınca Kolonisi optimizasyonu başlıca kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümünde iyidir. Buna karşılık, Evrimsel Algoritma her türlü optimizasyon problemlerinin çözümünde iyi olarak bilinir. Özellikle, örneğin karışık sürekli tamsayı veya karışık sürekli ayrık optimizasyon problemleri gibi karışık optimizasyon

problemlerin çözümde EA'nın gücü iyi olarak kabul edilir<sup>142</sup>. YİD yatırım projesi ihale hedeflerinin sağlanmasında önerilen optimizasyon problemlerinin bu kategoride yer alması amaçlanmıştır. (bu kategori, modelin formüle edildiği beşinci bölümde, daha kanıtlanır olacaktır).

YİD yatırım fırsatı için önerilen karmaşık optimizasyon problemleri büyük ölçekli problemler haline dönüşmektedir. Çünkü amaç fonksiyonunda ve kısıtlarda lineer olmama durumu, standart dışı fayda fonksiyonları (beşinci bölümde detaylar sağlanacaktır) nedeniyle önerilen optimizasyon problemi karmaşık bir problem olur. Bundan dolayı, önerilen optimizasyon problemlerinin doğası (karmaşıklık ve problem boyutu) gereği Evrimsel Algoritma optimizasyon aracı olarak seçilmiştir.

Hedeflenen optimizasyon problemlerini çözmek için çalışmanın 5., 6. ve 7. bölümlerinde Evrimsel Algoritma uygulaması yapılacaktır ve EA'nın işleyişi dördüncü bölümde detaylandırılacaktır.

---

<sup>142</sup> Goldberg (1989)

## 4. Çalışmanın Kuramsal Çerçevesi

Çalışmanın üçüncü bölümünde, sponsorların dolayısıyla proje şirketinin ihale hedeflerini belirlemek için optimizasyon modellerinin geliştirilmesinde indirgenmiş nakit akışı yöntemi ve Evrimsel Algoritma yöntemi iki yapı bloğu olarak kabul edilmiştir. Bu dördüncü bölümde ise, YİD tabanlı projeler için indirgenmiş nakit akışı yöntemiyle yatırımın değerlendirilmesi için finansal model kapasitesinin geliştirilmesi anlatılmaktadır. YİD projelerinde imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini sağlayan tek ve çok amaçlı finansal optimizasyon modellerini çözümlmek için EA'nın çalışma mekanizması gösterilmiştir. Daha sonra belirsizlik ve risk altında YİD projesi yatırım değerlendirilmesi için Monte Carlo simülasyon yöntemine değinilmiştir.

### 4.1. Finansal Model Gelişimi

Finansal bir model, finansal bileşenler arasındaki ilişkilerin matematiksel ifadesidir. Proje değerlendirmede alınan kararları desteklemek için finansal modeller kullanılır. Aşağıdaki kısımlarda, projedeki öz sermaye sahiplerinin yani sponsorların bakış açısından projenin uygulanabilirliği incelenmiştir.

Herhangi bir yatırım değerlendirmesinde ilk adım, proje maliyetlerinin ve proje tarafından üretilen nakit akışlarının hesaplanması için uygun bilgileri toplamaktır. En basit şekliyle nakit akışı, yatırım projesinden dışarı giden para ve gelen para arasındaki farktır. Her yatırım fırsatı tam olarak oluşturduğu nakit akışı ile tarif edilebilir. Nakit akışının kesinliği yatırım fırsatı ile ilişkili riski belirler.

#### 4.1.1. YİD projelerinde finansal analiz

Proje yapılabirlik çalışmalarının son aşaması finansal analizdir. Bu analiz, projenin yapım dönemindeki gerekli toplam yatırım tutarını ve üretime geçtikten sonra tesisin hükümete devredilmesine kadar olan sponsor çalışma dönemi boyunca gerektirdiği işletme giderleri ile sağlayacağı getirilerini tahmin etmeyi içerir. Bu tahminler çerçevesinde yatırım önerisinin başarı derecesi belirlenir.

Finansal analiz kapsamında yapılacak çalışmalar şunlardır:

- (1) Projenin toplam maliyetinin hesaplanması;
- (2) Projenin toplam gelirlerinin hesaplanması;

(3) Projenin proforma gelir ve nakit akış tablolarının belirlenmesidir.

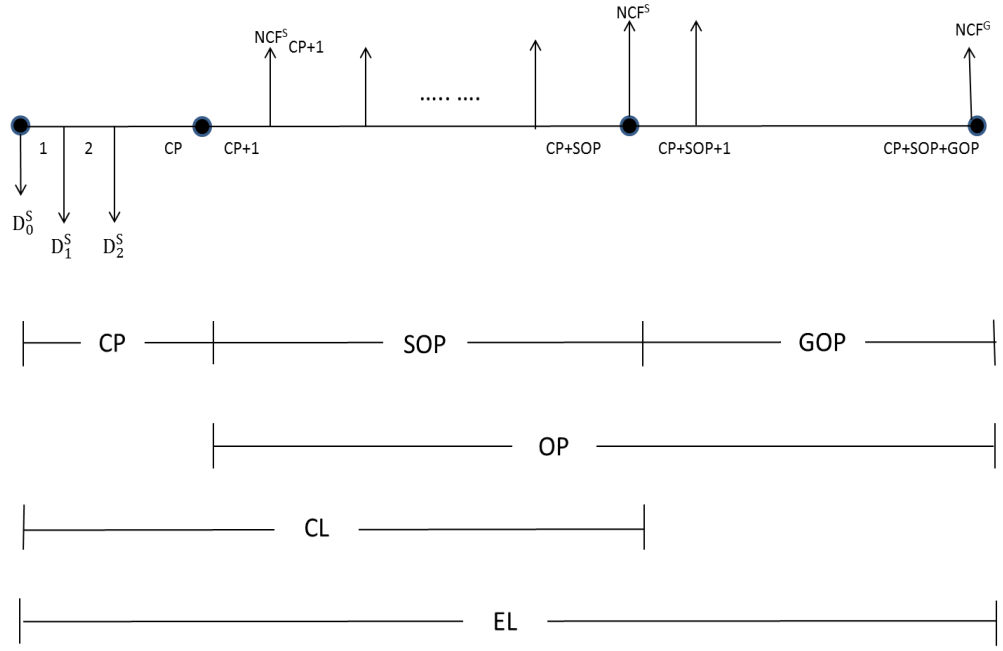
En genel haliyle projenin net nakit akışlarının ve gelirlerin hesaplanması aşağıdaki Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. YİD Modeli İçin Net Nakit Akışı Tablosu

Proforma Nakit Akım-Gelir Tablosu							
GELİR/GİDER	YILLAR						
	YAPIM DÖNEMİ (n yıl)			SPONSOR ÇALIŞMA DÖNEMİ (m yıl)			
	i-1	i=1	i=n	j=n+1	j=n+2	j=n+3	j=m
1 Gelirler				xxx	xxx	xxx	xxx
2 İlk Yatırım gid.	xxx	xxx	xxx				
3 Çalışma ve bakım gid.				xxx	xxx	xxx	xxx
4 Faizler				xxx	xxx	xxx	xxx
5 Amortismanlar				xxx	xxx	xxx	xxx
6 Brüt Kar (1-2-3-4-5)				xxx	xxx	xxx	xxx
7 Vergi (6 x vergi oranı)				xxx	xxx	xxx	xxx
8 Net Kar (6-7)				xxx	xxx	xxx	xxx
9 Net Nakit Akımı (8+5-2)	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

#### 4.1.2. Önemli tanımlar

YİD projelerinin finansal modellenmesi için aşağıdaki terimler kullanılır. Terimlerin tanımlarını kolaylaştırmak için, ana paydaşların farklı bakış açılarından, tipik bir YİD projesinin ekonomik ömrü boyunca elde ettiği nakit akışları Şekil 3’te gösterilmektedir. Şekil 3’te, iki tür gösterim kullanılmıştır. Farklı dönemleri temsil eden semboller burada açıklanmıştır, nakit akışlarını temsil eden semboller ise dördüncü bölümdeki kısım 4.1.4.1’de açıklanacaktır.



Şekil 3. Bir YİD Projesinin Nakit Akışları

**Kaynak:** Islam, 2008:58

Tanım 4.1. (Yapım dönemi): Bir YİD projesinin yapım dönemi, sözleşmeye göre yapım faaliyetlerinin beklenen tamamlanma sürecidir. *Yapım dönemi* (CP) olarak adlandırılır. Tesisin işletmeye açılmasına kadar geçen süredir ve/veya inşaat süresidir.

Tanım 4.2 (İşletme dönemi): Yapım dönemini takiben, YİD proje süresince tesisin kazanç yeteneğine sahip olması *işletme dönemi* (OP) olarak adlandırılır. Tesisin tam üretime geçmesinden projenin ekonomik ömrü sonuna kadar gelir getirdiği dönemdir.

Tanım 4.3 (Sponsor Çalışma Dönemi): Yapım döneminin hemen ardından sponsorların makul bir kâr ile birlikte yatırım masraflarını karşılamak için tesisin çalışma dönemine sponsor çalışma dönemi (SOP) denir. YİD projesinin yapım döneminden sonra hükümete devredilmesine kadar olan süreci kapsar.

Tanım 4.4 (İmtiyaz Süresi): Yapım dönemi ve sponsor çalışma dönemini kapsayan süreye bir YİD projesinin *imtiyaz süresi* (CL) denir.

Tanım 4.5 (Ekonomik Ömür) : Yapım dönemi ve işletme dönemi bir YİD projesinin *ekonomik ömrünü* (EL) oluşturur.

Tanım 4.6 (Hükümet Çalışma Dönemi): Sponsor çalışma döneminin hemen ardından tesisin hükümet kuruluşuna devredilmesiyle, ekonomik ömrün sonuna kadar hükümet kuruluşunun tesisi işlettiği döneme *hükümet çalışma dönemi* (GOP) denir.

Tanım 4.7 (Taban Maliyet): Taban maliyet, tesisin fiziki olarak kurulması için yapılması gereken harcamalardır. Projenin özelliklerine bağlı olarak, arazi kamulaştırma ve peşin ve taahhütlü ücretler gibi kredi süreçlerine dâhil olan diğer maliyetler taban maliyetine dâhil edilebilir. Karar verenler genellikle taban maliyetin tahmininde bir önceki yılın piyasa fiyatlarını kullanırlar<sup>143</sup>.

Tanım 4.8 (Taban Talep): Bir YİD projesinin çalışma döneminin başında bir ürünün (yıllık üretimi gibi) tahmini talebi *taban talep* olarak tanımlanır. Taban talep genellikle *ilk talep* olarak da adlandırılır.

Tanım 4.9 (Birim Ücret): Bir ürünün birim miktarı başına satış fiyatı (YİD projesinin çalışma dönemi başında) *birim ücret* olarak tanımlanır.

Tanım 4.10 (Özsermaye Seviyesi): Özsermaye seviyesi taban maliyete sermaye katkı yüzdesidir, eğer enflasyon etkisi varsa enflasyondan hemen sonra göz önüne alınır<sup>144</sup>.

#### 4.1.3. Finansal model için varsayımlar

- 1) Bir projenin finansmanı öz sermayenin ve borcun kombinasyonu ile yükseltilir. Yapım döneminde net nakit akışı negatiftir ve çalışma süresince pozitiftir; net nakit akışının işareti sadece bir kez değişir. Böylelikle projenin İç Getiri Oranı tek bir değerdir, farklı IRR oranları yoktur.
- 2) Bir kredi bir kaynaktan ya da birden fazla kaynaktan aynı faiz oranlı yıllık eşit taksitler ile kullanılabilir. Çünkü geri ödemenin bu formunu kullanmak yaygındır<sup>145</sup>. Ayrıca, genellikle kredinin % 0,5-1,5 olan taahhüt ücretlerinin ve peşinatının, basitlik sağlamak amacıyla işlenen kredi miktarına dâhil olduğu kabul edilir<sup>146</sup>. Yapım dönemindeki finansal giderler proje maliyetine, işletme süresindeki diğer finansal giderler ise operasyonel giderlere eklenmiştir.
- 3) Yapım dönemindeki operasyonel giderlerden olan genel yönetim giderleri toplam proje maliyetine eklenmiştir.

<sup>143</sup> Bakatjan vd. (2003)

<sup>144</sup> M. Ranasinghe (1996). Total Project cost: A simplified model for decision makers. *Construction Management And Economics*, 14(6), 497-505.; Wibowo ve Kochendorfer (2005), s. 963-972.; X. Zhang (2005). Financial viability analysis and capital structure optimization in privatized public infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(6), 656-668.; Islam (2008).

<sup>145</sup> Bakatjan vd. (2003)

<sup>146</sup> Bakatjan vd. (2003)

- 4) Yapım süresine eşit olan ödemesiz kredi dönemi vardır. Genellikle, ödemesiz dönem yapım süresine eşittir; projenin geliri sadece borcun geri ödemesine bağlıdır.
- 5) Arazi kamulaştırma maliyeti ek bir maliyet olarak projenin taban maliyetine (BC) eklenebilir.
- 6) Yapım sırasındaki nakit akışları önceden tahmin edilir.
- 7) Hiçbir eklenen katma değer vergisi (KDV), kurumsal ve gelir vergisi yoktur. Sadece uygulanabilir vergi, uluslararası borç vermedeki en sık kullanılan vergi olan % 11 (ücret dahil) vergi kesintisidir.
- 8) Birim ücret/fiyat tarifleri, kredi geri ödeme döneminde ve kredi vadesinden sonra sabit bir değere sahiptir.
- 9) Toplam proje maliyetinin (TPC) tam amortismanına operasyon süresince izin verilir.
- 10) Tüm nakit akışlarının yanı sıra enflasyon oranları da farklıdır.
- 11) Taban maliyet yapım dönemi başlamadan hemen önce tahmin edilir.
- 12) Yapım ve çalışma dönemleri projenin ekonomik ömrünü kapsar.
- 13) Yapım döneminin uzunluğu önceden belirlenmiştir.
- 14) Yapım ödemeleri ve yapım süresi bağımsızdır.
- 15) Taban talep ve birim ücret tarifesi bağımsızdır.
- 16) Hiçbir yabancı para birimi proje sermaye artırımına katılamaz.
- 17) Sermaye ve borç, öz sermaye seviyesine göre yıllık çekilir.
- 18) Çalışma dönemi boyunca nakit akışları, çalışma dönemi içerisinde belirlenmiş yılın sonunda gerçekleştirilirken, sermaye ve borç yapım döneminde belirlenmiş bir yılın başında çekilir.

#### **4.1.4. Finansal modelin teorik çerçevesi**

Model gelişimi indirgenmiş nakit akışı yöntemine dayanmaktadır. Finansal model gelişimi üç ana adımda sunulmaktadır. İlk olarak YID projesinin nakit akışlarının bileşenleri gösterilir. İkinci olarak, ana paydaşların farklı bakış açılarına göre nakit akışlarını değerlendirmek için denklemler sunulur. Üçüncü olarak, ana finansal performans ölçümlerini hesaplamayla ilgili formüller gösterilir.

#### 4.1.4.1. YİD projelerinde nakit akışlarının bileşenleri

*Toplam Proje Maliyeti:* Islam (2008)'e göre, yapım dönemi sonundaki toplam proje maliyeti; yapım süresi boyunca yıllık taban maliyetin, yıllık taban maliyetin enflasyona bağlı ek ödemelerinin ve yıllık borç faizinin toplamıdır<sup>147</sup>.

Aşağıdaki ifadedeki  $BC_{i-1}$  terimi önceden belirlenmiş bir yılın tahmini piyasa fiyatındaki projenin temel maliyetini veya sabit değer maliyetini;  $EC_{i-1}$  terimi, yapım sırasındaki enflasyona bağlı maliyet artışını ve  $IC_{i-1}$ , yapım sırasındaki faizi göstermektedir.

Toplam proje maliyeti= (ilk yatırım giderleri + enflasyon etkisi + faizler)  
Denklem (4.1) sponsorların bakış açısından yapım dönemindeki toplam proje maliyetini açıklar.

$$TC = \sum_{i=1}^{CP} (BC_{i-1} + EC_{i-1} + IC_{i-1}) \quad (4.1)$$

*Yıllık Taban Maliyet ( $BC_{i-1}$ ):* Tesisin yapım döneminde yapılacak başlangıç yatırım giderleridir. Yapım süresi boyunca taban maliyetin yıllık dağılımı genellikle yapım süresi içinde belirlenmiş bir yılda tamamlanması gereken yapım çalışmalarının tahmini yüzdesini belirtir<sup>148</sup>. Denklem (4.2), bu nedenle, yapım dönemi boyunca yıllık taban maliyeti tanımlar.

$$BC_{i-1} = \delta_i \times BC \quad (4.2)$$

Burada;

BC= inşaat döneminin başında belirtildiği üzere taban maliyet değeri;

$BC_{i-1}$ = i. yılın başındaki taban maliyetin payı;

CP= yapım döneminin uzunluğu (yıl);

i= yapım dönemi için indis  $i \in [1, CP]$ ;

$\delta_i$ = i. yıldaki taban maliyetinin yüzdesidir.

*Yıllık Taban Maliyete Enflasyon etkisi:* Ranasinghe (1996) ve Islam (2008)'e göre denklem (4.3) yıllık taban maliyete enflasyona bağlı ek ödemelerin, yapım süresinin başında hesaplandığını gösterir<sup>149</sup>.

<sup>147</sup> Islam (2008), s. 61.

<sup>148</sup> Bakatjan vd (2003).

<sup>149</sup> Ranasinghe (1996), s. 497-505.; Islam (2008), s. 61

$$EC_{i-1} = BC_{i-1} \times \left\{ \left( \prod_{h=0}^i (1 + r_h) \right) - 1 \right\} \quad (4.3)$$

$EC_{i-1}$  = i'inci yıl için, taban maliyete ( $BC_{i-1}$ ) enflasyon nedeniyle katlanılan ek maliyet;

$r_h$  = h 'inci yıldaki enflasyon oranıdır.

*Yapım Süresi Boyunca Borç Faizi:* Islam (2008)'e göre denklem (4.4), i' inci yıldaki borç faizinin yapım döneminin sonunda tahakkuk edildiğini gösterir<sup>150</sup>.

$$IC_{i-1} = (1 - \epsilon) \times \left\{ BC_{i-1} \times \prod_{h=0}^i (1 + r_h) \right\} \times \left\{ (1 + r_b)^{CP-i+1} - 1 \right\} \quad (4.4)$$

$IC_{i-1}$  = i'inci yıldaki borca tahakkuk eden faiz;

$r_b$  = kredi faiz oranı;

$\epsilon$  = şimdiki değer maliyetinin özsermaye kısmıdır; yapım dönemindeki toplam proje maliyetleri özsermaye ve borç arasında paylaşılır.

$CP_{-i+1}$  = yapım döneminden sonra borcun ödemesiz dönemindeki faizini hesaplar.

*Brüt Gelir:* Satış gelirleri, brüt gelir kalemini oluşturmaktadır. Brüt gelir, ürün fiyatı ve ürün talebine/satışına bağlı olarak değişir. Sponsor çalışma dönemi boyunca elde edilecek yıllık brüt gelir denklem (4.5)'te Kakimoto and Seneviratne (2000a)'e göre fiyatın işlevi ve ürünün talebi şeklinde tanımlanır<sup>151</sup>.

$$REV_j = \{P_{j-1}\} \times \left\{ Q_{j-1} \prod_{k=0}^{j-1} (1 + g_k^Q) \right\} \quad (4.5)$$

OP = çalışma periyodunun uzunluğu (yıl);

$REV_j$  = j'inci yıldaki brüt gelir;

$P_{j-1}$  = j'inci yılın başındaki bir ürünün fiyatı,  $P_{j=0}$  = birim fiyat;

$Q_{j-1}$  = j'inci yılın başındaki ürüne olan talep,  $Q_{j=0}$  = taban talep;

$g_k^Q$  = k'inci yıldaki birim talep yıllık büyüme oranı;  $g_{k=CP}^Q = 0$ ;

j = sponsor çalışma dönemi için indis  $j \in [CP+1, OP]$ ;

<sup>150</sup> Ranasinghe (1996), s. 497-505'ten aktaran Islam (2008), s. 61.

<sup>151</sup> Kakimoto ve Seneviratne (2000a), s. 281-287'den aktaran Islam (2008), s. 61.

*Yıllık Çalışma ve Bakım Maliyeti:* Yıllık çalışma ve bakım maliyeti çalışma dönemindeki yıllık maliyetlerdir. İfade (4.6), yıllık çalışma ve yıllık bakım maliyetini rakamlarla açıklar.

$$OMC_j \quad (4.6)$$

$OMC_j = j$ 'inci yıldaki çalışma ve bakım maliyetidir.

*Birikmiş Borç:* Yapım dönemi sonundaki birikmiş borç (ADT), borçların ve faizlerinin yapım dönemi boyunca gelecek zaman değerlerini gösterir. Denklem (4.7) Ranasinghe (1996) ve Islam (2008)'e paralel olarak birikmiş borcu açıklar<sup>152</sup>.

$$ADT = \sum_{i=1}^{CP} \left\{ (1 - e) \times BC_{i-1} \times \left( \prod_{h=0}^i (1 + r_h) \right) \times (1 + r_b)^{CP-i+1} \right\} \quad (4.7)$$

*Borç Geri Ödeme:* Sponsorlar birikmiş borçlarını (denklem (4.7) de açıklandı) sponsor operasyon döneminde (genellikle kredi geri ödeme dönemi olarak tanımlanır) geri ödemek zorundadır. Denklem (4.8)'de Ranasinghe (1996), Bakatjan vd. (2003) ve Islam(2008)'e göre yıllık eşit borç taksitleri olarak tanımlanır.

$$ADI_j = ADT \left\{ \frac{r_b \times (1 + r_b)^{LRP}}{(1 + r_b)^{LRP} - 1} \right\} \quad (4.8)$$

$ADI_j = j$ 'inci yıldaki yıllık eşit kredi taksitleri;

$LRP =$  kredi geri ödeme dönemi (yıl).

*Amortisman:* Finansal yönden amortismanın anlamı, sermaye olarak bağlanan değerlerin (yatırım varlıklarının) geri alınmasıdır.

Sponsorlar amortismanı, nakit olmayan giderlerini hükümetin vergi korumasından yararlanmak için kullanır. Denklem (4.4)'de sponsorlar için amortisman maliyeti, toplam proje maliyetidir<sup>153</sup>. YİD projelerinde amortisman oranının hesaplanmasında, üç farklı teknikten biri kullanılabilir: Doğrusal Amortisman Hesaplama Yöntemi (Linear), Dereceli Amortisman Hesaplama Yöntemi, (Digressive) Artan Paylı Amortisman Hesaplama Yöntemi (Progressive).

Doğrusal amortisman yöntemine göre, amortisman ayırma dönemi boyunca amortismanın sabit (düzgün) oranı kabul edilir. Progressive yöntem bir YİD projesinin

<sup>152</sup> Islam (2008), s. 62.

<sup>153</sup> Bakatjan (2003); Islam (2008), s. 63

ilerleyen aşamalarında amortisman artışını dikkate alırken, digressive yöntem, amortismanın kademeli düşüşünü dikkate alır. Gerçekte, yukarıda belirtilen amortisman yöntemlerinin birinden ya da hepsinden yararlanılabilir. Ancak, bu üç yöntem yakından incelenirse, doğrusal amortisman yöntemi düzgün yıllık vergi sağlar. Bu çalışmada genelliği kaybetmeden, bu nedenle, doğrusal amortisman yöntemi kullanılmıştır. Bakatjan vd. (2003) ve Islam (2008)'de YİD projelerinde finansal modellerin formüle edilmesinde doğrusal amortisman modelini kullanmışlardır. Ayrıca, diğer akademisyenlere paralel olarak bu çalışmada, sponsor çalışma dönemi boyunca toplam proje maliyetinde tam amortisman dikkate alınır. Denklem (4.9) yıllık amortisman tutarını tanımlar.

$$DEP_j = \frac{TC}{SOP} \quad (4.9)$$

DEP<sub>j</sub>= j'inci yıldaki amortisman;

SOP= sponsor çalışma dönemidir.

*Kredi Geri Ödeme Döneminde Borç Faizleri:* Kredi geri ödeme dönemi boyunca ödenecek borç faizlerini belirlemek için, yıllık eşit borç taksitleri içinde anapara borcun hesaplanması gerekir. Denklem (4.10), Islam (2008)'e göre borcun anaparasını yıllık eşit taksitler olarak tanımlar<sup>154</sup>.

$$DPR_j = ADI_j \left\{ \frac{1}{(1 + r_b)^{LRP-j+1}} \right\} \forall j \in [CP + 1, LRP] \quad (4.10)$$

DPR<sub>j</sub>= j'inci yılda ödenecek borcun anaparasıdır.

Denklem (4.10) yıllık kredi ödemelerinin içindeki borç faizlerini de gösterir. Şöyle ki aşağıdaki denklem (INT<sub>j</sub>), j'inci yıl içinde ödenecek borcun faizini ifade eder.

$$INT_j = ADI_j \left\{ 1 - \frac{1}{(1 + r_b)^{LRP-j+1}} \right\} \forall j \in [CP + 1, LRP] \quad (4.11)$$

*Vergi:* Vergi, hükümetler için gelir, sponsorlar için giderdir. Bu çalışmada, basitleştirmek için, sadece borç faizleri ve diğer finansal giderler sonrası yıllık net nakit akışının kullanılabilir olmasına bağlı olan ödemelere dayalı gelir vergilerini içerir. Eğer yıllık net nakit akışı çalışma sonrası ve bakım maliyeti ve borç faizleri sonrası negatif olursa yıllık vergi sıfır olacaktır. Borç faizleri ve amortisman genellikle indirilebilir

<sup>154</sup> Islam (2008), s. 64.

vergidir. Denklem (4.12) Wibowo ve Kochendorfer (2005)'e ve Islam (2008)'e paralel olarak sponsor çalışma dönemi (SOP) boyunca devlete ödenen yıllık vergiyi tanımlar.

$$TAX_j = \max[0, \{r_t \times (REV_j - OMC_j - INT_j - DEP_j)\}] \quad (4.12)$$

$TAX_j$ = j'inci yılda devlete ödenen vergi;

$r_t$ = yıllık vergi oranıdır.

Sponsor çalışma döneminde belirli bir yıl için, Denklem (4.13) Bakatjan vd (2003) ve Islam (2008)'e göre yıllık net gelir, yıllık çalışma ve bakım maliyetleri ve yıllık amortisman düşüldükten sonra vergi ve faizlerden önceki kârı (PBIT) gösterir.

$$PBIT_j = (REV_j - OMC_j - DEP_j) \quad (4.13)$$

#### 4.1.4.2. YİD projelerinde ana paydaşların nakit akışlarına farklı bakış açıları

*Yapım dönemi boyunca yıllık net nakit çıkışlarına sponsorların bakış açıları:*

Sponsorlar için, yıllık sermaye çizimleri, yapım süresi boyunca yıllık net nakit akışı denklem (4.14) de tanımlanmıştır.

$$D_i^S = e \times \left( BC_{i-1} \times \prod_{h=0}^{i-1} (1 + r_h) \right) + IC_{i-1} \quad (4.14)$$

$D_i^S$ = sponsorların i'inci yıldaki nakit akışıdır.

*Sponsor çalışma dönemi boyunca yıllık net akış analizi:* Denklem (4.15) tüm proje yükümlülüklerini (örnek; yıllık çalışma ve bakım maliyeti, yıllık eşit borç taksitleri, ve yıllık vergi) yerine getirdikten sonra sponsor çalışma döneminin (SOP) her yılı boyunca sponsorlar için kullanılabilir yıllık net vergi sonrası nakit akışlarını tanımlar<sup>155</sup>.

$$NCF_j^S = (REV_j - OMC_j - ADI_j - TAX_j) \quad \forall j \in [CP + 1, SOP] \quad (4.15)$$

*Hükümet yapım dönemi boyunca hükümet için kullanılabilir yıllık net akış analizi:*

Hükümet çalışma dönemi boyunca (GOP) hükümet için kullanılabilir yıllık net akış analizini denklem (4.16)'da açıklanmıştır, projenin hükümete devrinden ekonomik ömrü sonuna kadar olan dönemi kapsar.

$$NCF_j^G = (REV_j - OMC_j) \quad \forall j \in [SOP + 1, OP] \quad (4.16)$$

<sup>155</sup> Bakatjan vd. (2003); Islam (2008), s. 65

$NCF_j^G = j$ 'inci yılda hükümetin net nakit akışı;

$OMC_j = j$ 'inci yıldaki çalışma ve bakım maliyeti;

$REV_j = j$ 'inci yıldaki brüt gelir.

#### 4.1.4.3. Finansal performans ölçümleri

Finansal performans ölçümlerin hesaplanması için üçüncü bölümdeki kısım 3.1'de NPV ve IRR tartışılmıştır. Bu çalışmada indirgenmiş nakit akışı analizi yöntemleri kullanılır. Tüm nakit akışları YİD projesinin başında (yani, yapım döneminin başında) değerlendirilmiştir.

*Sponsorların nakit akışının NPV'si:* Denklem (4.17) Islam (2008)'e göre yapım döneminin başlangıcında sponsor nakit akışının indirgenmiş net bugünkü değerini tanımlar.

$$NPV^S = - \sum_{i=1}^{CP} \left\{ \frac{\epsilon \times (BC_{i-1} + EC_{i-1}) + IC_{i-1}}{(1 + R)^{i-1}} \right\} + \sum_{j=CP+1}^{SOP} \left\{ \frac{NCF_j^S}{(1 + R)^j} \right\} \quad (4.17)$$

R= Sponsorların öngördüğü indirgeme oranı (sermaye maliyeti)

*Sponsorların Nakit Akışının IRR'si:* Sponsorların bakış açılarından, sponsorların nakit akışını 0 yapan indirgeme oranı, iç getiri oranıdır. Denklem (4.3), denklem (4.17)'de yerine koyulur ve  $NPV^S = 0$  olduğu kabul edilirse, sonuç denklem (4.18) olacaktır.

$$\sum_{i=1}^{CP} \left\{ \frac{\epsilon \times (BC_{i-1} \times \prod_{h=0}^i (1 + r_h)) + IC_{i-1}}{(1 + IRR^S)^{i-1}} \right\} = \sum_{j=CP+1}^{SOP} \left\{ \frac{NCF_j^S}{(1 + IRR^S)^j} \right\} \quad (4.18)$$

*Kredi verenler için borç servisi:* Kredi verenler için projenin borç servis kapasitesi genellikle yıllık borç servisi karşılama oranı (DSCR) ile ifade edilir. Denklem (4.19)'da borç servisi karşılama oranı (DSCR), yıllık toplam borç servisi için yıllık kullanılabilir naktin (vergilerden sonra) borca oranı olarak tanımlanmıştır.

$$DSCR_j = \left( \frac{REV_j - OMC_j - TAX_j}{ADI_j} \right) \quad (4.19)$$

$DSCR_j = j$ 'inci yıldaki borç servisi karşılama oranıdır.

*Hükümet kuruluşunun nakit akışları için NPV:* Denklem (4.20) yapım döneminin başlangıcında hükümetin indirgenmiş nakit akışının şimdiki net değerlerini tanımlar.

$$NPV^G = \sum_{l=CP+SOP+1}^{OP} \left\{ \frac{NCF_j^G}{(1+R)^j} \right\} \quad (4.20)$$

## 4.2. EA İle Optimizasyon

Üçüncü bölümde, proje şirketinin YİD ihalesini kazanma hedeflerini göz önüne alan finansal optimizasyon modelin çözüm aracı yani imtiyazlı öğelerin değerini optimize edecek optimizasyon aracı Evrimsel Algoritma olarak belirlenmiştir. Bu bölümde EA ile ilgili kısa bir literatür gözden geçirilecektir ve genel hatlarıyla tanıtılacaktır. Aynı zamanda, bu dördüncü bölümün başında kurulan finansal modellerin finansal optimizasyon modeline dönüştürülmesinden sonra önerdiğimiz optimizasyon probleminin çözümü için kullanılacak Diferansiyel Evrim algoritmasının çalışma mekanizmaları gösterilecektir ve çok amaçlı problemin çözümü için ayrıştırmaya dayalı Diferansiyel Evrim algoritması sunulacaktır.

### 4.2.1. EA kavramına giriş

Evrim, biyolojide canlı türlerinin nesilden nesile kalıtsal değişime uğrayarak ilk halinden farklı özellikler kazanma sürecidir. Evrim, bir canlı popülasyonunun genetik kompozisyonunun rastgele mutasyonlar yoluyla<sup>156</sup> zamanla değişmesi anlamına gelir. Genlerdeki mutasyonlar, göçler veya çeşitli türler arasında yatay gen aktarımları sonucu türün bireylerinde yeni veya değişmiş özelliklerin (varyasyonların) ortaya çıkması, evrim sürecini yürüten temel etmendir.

Kompleks optimizasyon problemlerinin sonuçlarını hesaplama çalışmaları, evrim algoritmaları olarak adlandırılan optimizasyon yöntemlerinin gelişimini sağlamıştır. Doğadaki evrim sürecine dayalı olarak modellenmiş olan bu algoritmalar özellikle sürekli, konveks ve yüksek dereceden doğrusal olmayan problemlerin çözümünde alternatif sağlamıştır<sup>157</sup>. EA, doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan

<sup>156</sup> Understanding Evolution: Mutations

<http://evolution.berkeley.edu/evosite/evo101/IIIC1Mutations.shtml> (Erişim tarihi: 09.10. 2011)

<sup>157</sup> R. E. Perez-Guerrero ve J. R. Cedeno-Maldonado (2005). Economic power dispatch with non-smooth cost functions using differential evolution. *Proceedings of the 37<sup>th</sup> Annual North American Power Symposium*, s. 183-190'dan aktaran

araştırma algoritmalarıdır. Evrimsel Algoritmalar formüle edilmişlerine göre genetik algoritmalar, Diferansiyel Evrim algoritması, evrimsel programlama, evrim stratejileri ve genetik programlama gibi değişik isimlerle anılmaktadır.

EA, Darwin tarafından ortaya atılan evrim kuramını temel alan stokastik, olasılıksal sezgisel yöntemlerdir. Evrim kuramında; canlı türleri doğal seçim ilkesine göre nesilden nesile kalıtsal değişime uğrar ve ilk halinden farklı özellikler kazanması yoluyla en iyi özelliğe sahip bireyler yaşama devam eder, ilkesi geçerlidir. Genlerdeki rastgele mutasyonlar ve türler arasındaki yatay gen aktarımları sonucu yeni özellikler (varyasyonlar) ortaya çıkar. Tıpkı evrim kuramındaki gibi evrimsel algoritmalarda da problemin çözümünü veren karar değişkenleri kromozomlarda kodlanırlar. Ve genlerde mutasyon ve gen aktarımları (çaprazlama) yoluyla yeni özelliklere sahip kromozomlar oluşturulur, böylece karar probleminin amacını optimize eden en iyi kromozomlar yaşama devam eder, kötüler elimine edilir. Böylelikle EA, Darwin'in "güçlü olan hayatta kalır" prensibini izler.

EA ilk olarak 1960'larda I. Rechenber'in "Evrimsel Stratejileri (Evolutionary Strategy)" isimli eserinde tanıtılmıştır. Onun fikri daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. 1970'li yıllarda Jhon Holland'ın optimumu bulmak için doğal seçim ve genetik evrimden yola çıkmasıyla tam olarak ortaya atılmıştır. Holland'ın öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirilerek, Holland'ın kitabı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" 1975 yılında yayınlandı. Goldberg'ın 1989 yılında genetik algoritmaları mühendislik alanına uygulamasıyla bu tip algoritmaların günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümünde uygun bir yöntem olduğu görülmüş ve popülerleşmiştir.

EA için basit bir tanımlama şöyle yapılabilir; popülasyonu oluşturan bireyler, sert çevresel koşullardan dolayı doğal seçim geçirirler ve bu durum popülasyon uygunluğunun yükselişiyle sonuçlanır. Örneğin verilen bir fonksiyonun maksimize edilmesi gerektiğini farz edelim, ilk olarak, aday çözümlerin bir dizisi rastgele oluşturulur ve daha iyi daha yüksek olarak bilinen soyut bir uygunluk ölçüsü elde etmek için verilen fonksiyonda yerine koyulur. Bu uygunluğa dayanarak, çaprazlama (rekombinasyon) ve/veya mutasyon uygulanarak iyi adayların bazıları gelecek nesile

---

S. Duman vd. (2011). Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı için Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanarak PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi. Elazığ: 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), s. 269.

tohum olmak üzere seçilirler. Çaprazlama ve mutasyonun yürütülmesi bir dizi yeni aday (yavru olarak da bilinir) oluşturulmasıyla tamamlanır. Uygunluklarına dayanarak eski adaylar yeni nesilde yenileri ile yerleri değiştirilir. Bu süreç yeterli kalitede bir yavru çözüm bulununcaya kadar ya da önceden ayarlanmış bir hesaplama sınırına ulaşıncaya kadar tekrarlanabilir<sup>158</sup>.

Evrimsel sistemlerinin temelini oluşturan iki bileşeni vardır<sup>159</sup>;

- Genetik operatörler (çaprazlama ve mutasyon): Gerekli çeşitliliği oluşturur ve böylece evrimleşme kolaylaştırılır.
- Değerlendirme operatörü ( Seçim): Çözümün kalitesini artırır.

Çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörlerinin birleşimi genellikle ardışık popülasyonlarda uygunluk değerlerinin geliştirilmesini sağlar. Yakın ve daha yakın optimum değerlere yaklaşılarak evrimin optimizasyonu ya da en azından optimale en uygun sonuç sağlanır<sup>160</sup>.

EA'nın genel bir şeması, sözde bir kodla aşağıdaki Şekil 4'te gösterilmiştir.

```
BEGIN

  INITIALISE population with random candidate solutions;

  EVALUATE each candidate;

  REPEAT UNTIL ( TERMINATION CONDITION is satisfied ) DO

    1 SELECT parents;

    2 RECOMBINE pairs of parents;

    3 MUTATE the resulting offspring;

    4 EVALUATE new candidates;

    5 SELECT individuals for the next generation;

  OD

END
```

Şekil 4. Evrimsel Algoritmaların Sözde Kodunun Genel Şekli

**Kaynak:** E. Smith (...). s. 15-24.'den aktaran Pak, 2011:19.

<sup>158</sup> E. Smith (...). What is an evolutionary algorithm. Introduction to Evolutionary Computation, Chapter 2, pp. 15-24.'den aktaran Pak (2011), s. 18.

<sup>159</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>160</sup> E. Smith (...). s. 15-24.'den aktaran Pak (2011), s. 19.

EA'nın optimizasyon problemlerinin çözümünde onları kullanılabilir kılan özellikleri vardır.

Bu özellikler aşağıdaki gibidir<sup>161</sup>:

- Popülasyon tabanlıdır.
- EA çeşitlilik amacıyla, aday çözümlerden bilgi karıştırıp yeni bir çözüm üretmek için genellikle çaprazlamayı kullanırlar.
- EA stokastiktir.

EA özetle, problemin matematiksel denklemlerinin çözümünüyle ilgilenmeden, çözümler kümesi üzerinden yola çıkan ve bu çözümleri doğal seçim ilkelerine göre işleyen, çeşitlendiren bir arama ve optimizasyon yöntemidir. EA'da çözüme giden adımların öncelik sırası yoktur ve problem hakkında hiçbir bilgi gerektirmez. EA en iyi çözümü garanti etmeksizin daha az çözüm zamanı ile en iyiye yakın bir çözümü hedefleyen sezgisel arama stratejisidir.

#### **4.2.1.1. EA'nın temel kavramları**

**Kromozom:** Problemin karar değişkenlerinin değerinin kodlandığı gen dizgeleridir. Her kromozom, problem için olası bir çözümü belirler ve her kromozom bir çözümü bir uygunluk değeri ile ilişkilendirir. Uygunluk değeri; belirli bir kromozomdaki karar değişkenlerinin, problemin amacını maksimize ya da minimize edecek amaç fonksiyonunda yerine konmasıyla elde edilen değeridir.

**Gen:** Her bir karar değişkenini kromozom içinde temsil eden kodlardır. Tek bir gen tek karar değişkenini temsil eder.

**Popülasyon:** Belirli sayıdaki kromozomların oluşturduğu topluluktur. Popülasyon, arama uzayı içindeki bir noktalar kümesini gösteren bir nüfustan oluşur. EA, tek bir çözümden yani kromozomdan yola çıkmaz belirli sayıda kromozomlarla yola çıkar ve buna ilk popülasyon denir. Popülasyon büyüklüğü nesil boyunca sabittir.

**Nesil:** Popülasyon ardışık yineleme yoluyla doğal seçim ilkesiyle geliştikçe, nesil olarak adlandırılır.

---

<sup>161</sup> Kapanoğlu (2011)

#### 4.2.1.2. EA ve diğer optimizasyon yöntemleri

Geleneksel optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında, Evrimsel algoritmalar; daha sağlamdır (robotik) ve farklı birçok gerçek dünya problemleri için etkinlik ve verimlilik arasında daha iyi bir denge elde ederler. EA genellikle geleneksel yöntemlere göre dirençli olma eğilimindedir. EA, şans, karmaşa ve doğrusal olmayan etkileşim ile karakterize olan sorunları çözmek için kullanılırlar<sup>162</sup>. Geleneksel arama yöntemleri, probleme bir çözüm adayı önerir ve onu değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeye çalışır. Aksine EA, bir çözüm adayları popülasyonu oluşturur ve bu popülasyon zamanla evrimleşir. Bir çözüm adayı bir parametreler topluluğunu, bir kuralı, bir kurallar grubunu temsil edebilir. Hepsinde de, algoritma her adayın ne kadar güçlü olduğunu hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak ya da yok olacak bireyleri belirler. Daha sonra, makul bir yeni nesil oluşturmak için ebeveynlere genetik arama operatörlerini (seçim, çaprazlama ve mutasyon) uygular. Bu döngü her defasında daha güçlü bireyler oluşturarak tekrarlanır.

EA en uygun / yakın optimal çözümü ararken, olasılıklı geçiş kurallarını kullanır. Araştırmanın, arama uzayının hangi bölgesine doğru yöneleceğine karar vermek için rassal seçim tekniğini kullanır bu yüzden stokastiktir<sup>163</sup>. Dahası, değişen stokastik bilginin sağlanması amaç fonksiyonunun matematiksel yapısına bağlı olmaması EA'yı kolaylaştırır. Uygunluk fonksiyonu bilgilerini kullanır, türevleri ya da yardımcı bilgileri kullanmaz.

#### 4.2.1.3. EA'nın avantajları

Diğer optimizasyon yöntemleri ile kıyaslandığında, EA aşağıdaki avantajları sağlar<sup>164</sup> ;

- Bilgi gereksinimi yönünden; EA çözüm uzayı hakkında bilgiye ihtiyaç duymaz ve amaç fonksiyonunun yardımcı bilgisini gerektirmez.
- EA büyük ölçekli karmaşık problemlerde başarılıdır.

<sup>162</sup> F. Xue (2004). *Multi-objective differential evolution: Theory and applications*. Rensselaer Polytechnic Institute, Ph.D. Thesis'den aktaran M. Pak (2011). *An enhanced multi-objective evolutionary algorithm (moea/d-de) for the applications of analog sizing with both w/l and a novel operating point driven (opd) based methods*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, s. 18.

<sup>163</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>164</sup> İslam (2008), s. 85

- Amaç fonksiyonu türleri yönünden; EA dışbükey ve dışbükey olmayan bölgelerin yanı sıra, tek ve çok şekilsel fonksiyonlarla, türevlenemeyen şekilsel fonksiyonlarla çalışabilir. Çözüm uzayındaki kopukluk ve devamsızlık EA'nın performansını çok az etkiler.
- Veri kaynağı ve türleri yönünden; EA analitik fonksiyonlar gibi sayısal olarak oluşturulan veriler üzerinde çalışma yeteneğine ve deneysel verilere sahiptir. EA sürekli ya da kesikli değişkenler içeren kesikli, sürekli ve karışık olan karar değişkenlerinin herhangi bir türünü optimize edebilir. Parametrelerin kendisiyle değil kodlarıyla çalıştığı için kesikli ve tamsayı problemlerin çözümünde kullanılabilir.
- Esneklik yönünden; EA karmaşık bir gerçek dünya sorununun gerçekçi bir temsilini yapmak için bulanık küme teorisi, yapay sinir ağları (gerekliyse) gibi diğer yapay zekâ algoritmaları ile melezleşmek için esneklik sunar.  
Söz konusu avantajlar EA'yı gerçek dünyadaki optimizasyon problemlerinin çözümünü için popüler hale getirir.

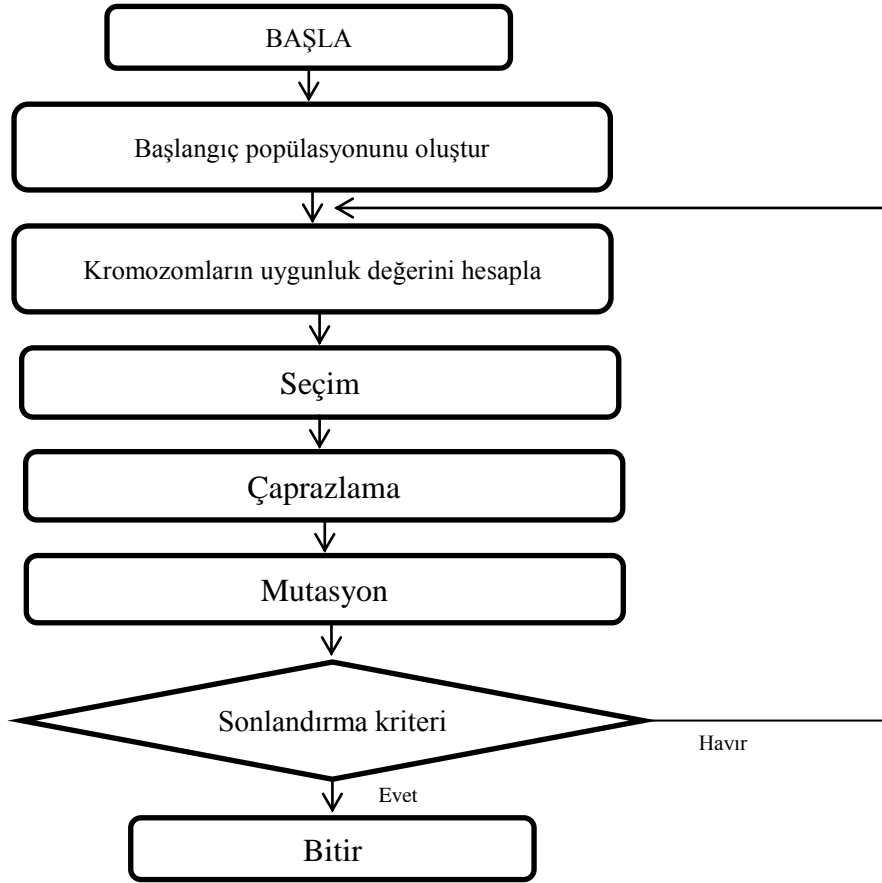
#### 4.2.2. EA'nın bileşenleri ve işleyiş kuralları

Bir optimizasyon problemini çözmek için, EA türleri (Genetik Algoritma, Diferansiyel Evrim algoritması vs.) farklı işlem adımlarına sahiptir. Tipik olarak, bir EA'nın belirli bir optimizasyon probleminin çözümü için aşağıdaki bileşenlere sahip olması gerekir. EA'nın işlem adımları da aşağıdaki biçimde açıklanabilir<sup>165</sup>:

- Problemin arama uzayındaki olası çözümlerinin temsili yapılmalıdır, karar değişkenleri kromozom olarak kodlanır.
- Genellikle rastsal bir olası çözüm kümesi seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
- Olası çözümlerin ve çevrenin problemi çözmeye kalitesini gösteren bir değerlendirme fonksiyonuna ihtiyaç duyulur. Her bir kromozom için uygunluk değeri hesaplanır.
- Yavruların (çocuk) kompozisyonunu değiştiren değerlendirme operatörüne ve genetik operatörlere (çaprazlama ve mutasyon) ihtiyaç duyulur.

<sup>165</sup> R.G. Schroeder (2000). Operations Management. USA: McGraw-Hill, s.304-319.

- EA'nın kullandığı çeşitli parametre değerlerine (nüfus büyüklüğü, vb. olasılıklar) ihtiyaç duyulur.
- Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
- İterasyon, belirlenen nesil sayısına ulaşıncaya işlem sona erdirilir. Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan kromozom seçilir.



Şekil 5. Evrimsel Algoritmaların Akış Diyagramı

**Kaynak:** Kapanoğlu, 2011.

Evrimsel Algoritmalar bazı bileşenlere sahiptir. Bu bileşenler yukarıdaki Şekil 5'te tanımlanmıştır. Bu bileşenlerin her birinin belirli bir EA tanımlamak için belirtilmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, çalışan bir algoritma başlatma prosedürü elde etmek gerekir ve bir sonlandırma koşulu da tanımlanmış olmalıdır. Yukarıda ifade edilen bileşenler aşağıda tanımlanmıştır.

#### 4.2.2.1. Kodlama

Karar değişkenlerinin kodlanmasındaki amaç, gerçek dünya ile evrimsel algoritmaların dünyası arasında bir köprü oluşturmaktır<sup>166</sup>. Uygun bir kodlama (kromozom temsili) planı kromozomları (karar değişkenlerini) karakterize etmektedir. EA ile bir problem için çözüm geliştirilmesinin ilk adımı, tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip biçimde gösterilmesidir<sup>167</sup>. Karar değişkenlerinin kodlanması, probleme özgü bilgilerin algoritmanın kullanacağı şekle çevrilmesine olanak tanır<sup>168</sup>.

Optimizasyon problemi N adet karar değişkenine sahip ise kromozom N boyutlu olur. Karar değişkenleri  $X_1, X_2, X_3, \dots, P_N$  ise;

Kromozom =  $[X_1, X_2, X_3, \dots, P_N]$  olarak tanımlanır.

Kodlama EA için önemli bir konudur. Çünkü sistemden gözlemlenen bilgiye bakış açısı büyük ölçüde sınırlandırılabilir. Gen dizgisi (kromozom) probleme özel bilgiyi depolar. Gen olarak adlandırılan her bir karar değişkeni, genellikle değişkenler stringi olarak ifade edilir. Değişkenler ikili veya reel sayı şeklinde gösterilebilir ve aralığı probleme özel olarak tanımlanır.

Problem türlerine göre kromozomların temsili çeşitli şekillerde gösterilebilir;

*İkili (Binary) kodlama:* Evrimsel algoritmalarda karmaşık yapıların temsilde ilk ve en çok kullanılan mekanizma (0,1) alfabesini kullanan ikili bit dizisidir. İkili kodlamada, her kromozom 0 veya 1 karakter dizilerinden oluşmaktadır.

*Gerçek değer kodlama:* Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde doğrudan gerçek değer kodlama kullanılabilir. Değer kodlamada, her kromozom gerçek sayılar, karakterler gibi değerler veya problemle ilgili olabilecek herhangi nesnelere olabilir.

Gerçek dünya durumu içinde bir kromozomun genlerini sonlu sayılar olarak temsil etmek önemlidir. EA'nın önemli bir zorluğu kromozomların kodlanması ve çözümüyle ilgilidir. Wright (1991), gerçek kodlamanın avantajlarının ikili kodlamadan

---

<sup>166</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>167</sup> Ö. Yeniay (2001). An overview of genetic algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), s.38.

<sup>168</sup> J.S.R. Jang (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence*, Chapter 7: Derivative-Free Optimization. USA: Prentice-Hall, s. 176'dan aktaran G. G. Emel ve Ç. Taşkın (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), s. 133.

daha iyi olduğunu belgelemiştir<sup>169</sup>. Radcliffe (1992) EA'nın iyi özelliklerinin aslında ikili kodlama kullanımından kaynaklı olmadığını savunmuştur<sup>170</sup>. Huang ve ark. (2003) reel değerli kodlama sisteminin daha yüksek doğruluk üretebildiğini iddia etmişlerdir<sup>171</sup>. Ayrıca, Islam (2008) çalışmasında reel değerli kodlamayı tercih etmiştir. Reel değerli kodlama sistemi daha fazla verimlidir, çünkü kromozomların karmaşık kodlama ve çözme işlemine ihtiyacı yoktur, bu nedenle gerçek değerli kodlama yapılarak hesaplama adımları azaltılmış olur.

İkili kodlama, hassaslık gereksinimi ve işlem verimliliği açısından gerçek kodlu gösterim ile karşılaştırıldığında, klasik ikili kodlama karışık sürekli tamsayı karar değişkenlerden oluşan problemlerin çözümüne uygun değildir<sup>172</sup>. Bu çalışmada karar değişkenlerini kodlamak için reel değerli kodlama kullanılmıştır. Ayrıca optimizasyon probleminin çözüm aracı olarak belirlenen Diferansiyel Evrim algoritması sınırlandırılmış gerçek değer kodlamayla çalışmaktadır.

#### 4.2.2.2. Popülasyon

Çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm topluluğuna popülasyon denir. Optimizasyon algoritmalarında popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi önemli bir konudur. Popülasyon büyüklüğü, popülasyon içinde kaç adet kromozom olduğunu gösterir. Yapılan çalışmalarda kullanılan EA başlangıç popülasyonu genellikle rastgele sayı üreticisinin kullanılmasıyla oluşturulur ya da problemle ilgili kabaca bilinen bazı çözümler başlangıç popülasyonu olarak algoritma içine katılabilir. Popülasyondaki kromozom sayısı sabit olup problemin özelliğine göre programlayıcı tarafından belirlenir. EA'nın isleyişi esnasında bu nüfus içinden bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek popülasyon büyüklüğü sabitlenmektedir.

Popülasyon büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom popülasyonu problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki popülasyon

<sup>169</sup> A. H. Wright (1991). Genetic algorithm for real parameter optimization. *Foundations of Genetic Algorithm*. (Ed. Morgan Kaufman, San Mateo). USA: G.E.J. Rawlings California, s. 205-218.

<sup>170</sup> N. J. Racliffe (1992). Nonlinear genetic representations. *Proceedings of second conference parallel problem solvings from nature*. (Ed: R. Manner and B. Manderick). Amsterdam: Elsevier Science Publishers, s. 259-268.

<sup>171</sup> X. Huang vd. (2003). Applying on RAGA in estimating internal rate of return of hydropower project. *Nature and Science*, 1(1), s. 72-74.

<sup>172</sup> F. Herrera vd (1998). Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for behavioral analysis. *Artificial Intelligence Review*, 12(4), s. 265-319'dan aktaran Islam (2008), s. 87.

çözüm değerlerine ulaşamamasına ya da sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşememesine neden olabilir<sup>173</sup>.

Bazı evrimsel algoritmalarda popülasyon, uzaklık ölçüsü veya komşuluk ilişkisi ile ek mekansal yapıya sahiptir.

#### **4.2.2.3. Uygunluk fonksiyonu**

Değerlendirme fonksiyonuna evrimsel algoritmalarda yaygın olarak uygunluk fonksiyonu adı verilir denir. Çoğu zaman EA tarafından çözülmesi gereken orijinal problem optimizasyon problemidir. Değerlendirme yani uygunluk fonksiyonu orijinal problemin amaç fonksiyonudur ya da onun bir dönüşümüdür<sup>174</sup>.

Bir nesil oluşturulduktan sonraki ilk adım, popülasyondaki her üyenin (kromozomun) uygunluk değerini hesaplamaktır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için  $i$ . üyenin uygunluk değeri olan  $f(i)$ , genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir. Eğer minimizasyon problemi ise düşük uygunluk değeri kromozomun ne kadar iyi olduğunu gösterir. Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her nesilde daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki nesilde temsil edilme oranı da o kadar yüksektir.

EA'nın başarısı bu uygunluk fonksiyonunun verimli ve hassas olmasına büyük ölçüde bağlıdır. Uygunluk fonksiyonu, doğrusal veya statik dinamik ölçeklendirme, sigma kesmesi ve normalizasyon gibi yöntemler kullanılarak çeşitli sebeplerden dolayı ölçeklendirilebilir<sup>175</sup>.

#### **4.2.2.4. EA operatörleri**

Bir problemin çözümünde kullanılan EA için kromozom üzerinde işlem yapmaya yarayan birçok operatör geliştirilmiştir. Bu operatörlerin çoğu seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin birer türleri olarak ortaya çıkmıştır.

---

<sup>173</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>174</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>175</sup> Kapanoğlu (2011)

#### 4.2.2.4.1. Ebeveyn seçim operatörü

Seçim operatörü, mevcut popülasyondan gelecek popülasyona aktarılacak olan kromozomların seçilme işlemini gerçekleştirir. Seçme işlemi kalitesi yüksek bireylerin hayatta kalmaları ve bu bireylerin sayılarının artması, kalitesi düşük bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolması amaçlanır. Kromozomlar arasındaki bu seçme işlemi tabiatta çevre tarafından yapılırken, yapay sistemlerde ise amaç fonksiyonu ve diğer kalite değerlendirme işlemleri tarafından yapılmaktadır<sup>176</sup>. Bu seçme işlemi uygulanırken, en iyi kromozomlara çok fazla şans verilirse, seçim baskısı oluşacaktır ve böyle bir baskı popülasyon çeşitliliğini azaltacaktır. Zayıf bir seçim baskısı ise aramanın etkinliğini azaltacaktır. Bu sebeple seçim baskısı ve popülasyon çeşitliliği arasında bir denge kurulmalıdır<sup>177</sup>.

#### 4.2.2.4.2. Çaprazlama operatörü

Çaprazlama işlemi sonucunda iki ebeveyn kromozomdan yavru kromozom meydana gelir. Ebeveyn kromozomların gen yapısı daha önceden belirlenmiş bir yöntemle yer değiştirilir, böylelikle iki kromozomdan gen parçaları yer değiştirilerek yeni yavru kromozom elde edilir. Çaprazlamayla, yeni popülasyonda gen çeşitliliği elde edilmiş olur. Bu sayede, kromozomlardaki göreceli sıra bilgisi takasıyla, yeni kromozomdan yeni genetik bilgi elde edilir. Çaprazlama operatörünün çalıştırılmasının ardından popülasyon büyüklüğünün sabit kalmasını sağlayan ve daha iyi yapıların eldesini amaçlayan eski ile yeni yapıların yer değiştirmesi sağlanarak Evrimsel Algoritma prosedürünün diğer adımları işletilmeye devam ettirilir.

Çaprazlama operatörü stokastiktir, eşlenecek kromozom çiftlerinin hangi parçalarının birleştirileceği ve hangi yolla bilgi aktarımı yapılacağı rastsal olarak belirlenir<sup>178</sup>.

---

<sup>176</sup> Kuo, R.J. ve Lin, L.M., (2010). Application of a hybrid of genetic algorithm and particleswarm optimization algorithm for order clustering. *Decision Support Systems*, 49(4), 451-462.'den aktaran G.N. Yücenur (2011). *Optimizasyon problemlerinin çözümünde melez metasezgisel bir algoritmanın tasarımı*. Doktora Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, s. 42.

<sup>177</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>178</sup> Kapanoğlu (2011)

#### 4.2.2.4.3. Mutasyon operatörü

Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat popülasyon iyi çözümlere yakınsadığından kromozomlar birbirine çok benzemektedir ve popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretemez. Bu durum, çaprazlama operatörünün farklı yeni kromozomlar oluşturmasını engelleyerek aramayı kısıtlar. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Mutasyon, kromozomdaki bir ya da birden fazla genin başlangıç durumlarına göre değişiklik göstermesine neden olan genetik bir operatördür. Nesiller arasında genetik değişkenliği sağlayan kromozomlardaki bozulma yapısıdır. Bu aşamada mutasyon, popülasyondaki değişkenliği gerçekleştirerek arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlamaktır. Mutasyon sonucu gen havuzunda yeni genler oluşur. Bu değişim sonucu algoritma daha iyi değerlere ulaşabilir. Algoritmada kullanılan mutasyon operatörü iterasyonlar gerçekleşirken yerel optimum noktalarda çözümün sıkışmasının önüne geçer<sup>179</sup>.

Bir mutasyon operatörü her zaman stokastiktir: Mutasyonun çıktısı, rastgele bir dizi seçim sonuçlarına bağlıdır. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörünün genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır<sup>180</sup>.

#### 4.2.2.5. Kontrol parametreleri

Evrimsel algoritmanın performansını etkileyen önemli etmenlerden biri kontrol parametrelerinin belirlenmesidir. Kontrol parametrelerinin seçimi problem tiplerine göre farklılık göstermektedir. Farklı problem ve kodlama türlerine göre en uygun kontrol parametrelerin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda kontrol parametreleri olarak popülasyon büyüklüğü, kuşak farkı, seçim yöntemi ve fonksiyon ölçeklemesi açıklanmaktadır.

##### 4.2.2.5.1. Popülasyon büyüklüğü

Evrimsel algoritmalara başlarken, kaç kromozom adedi ile başlanması gerektiği popülasyon büyüklüğünü oluşturur. Az sayıda kromozomla popülasyon oluşturmak

<sup>179</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>180</sup> O. Braysy (2001). *Local search and variable neighborhood search algorithms for the vehicle routing problem with time windows*. P.Hd Thesis. s. 54'ten aktaran Emel ve Taşkın (2002), s. 135.

iterasyonları hızlandırır fakat arama uzayını örneklemede yetersiz kalıp algoritmanın yerel optimuma takılma şansını artırır. Çok sayıda kromozom ise arama etkinliğini artırarak çözüm kalitesini artırır ancak algoritmanın adımları daha uzun zaman alacaktır<sup>181</sup>. Popülasyon genişliği algoritmanın yakınsamasını etkileyen bir faktördür. Goldberg 1985'te, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Goldberg birçok araştırmacının popülasyon büyüklüğünü 30-200 aralığında seçtiğini belirtmiştir<sup>182</sup>. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989'da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir<sup>183</sup>. Popülasyon büyüklüğünü kromozom uzunluklarını dikkate alarak belirlenmesinde seçilen yöntemlerden biri de; n kromozom uzunluğu olmak üzere popülasyon büyüklüğünün [n, 2n] arasında seçilmesidir<sup>184</sup>. Popülasyon büyüklüğünün küçük bir değer olarak belirlenmeye çalışılmasının başlıca nedeni EA'nın diğer meta-sezgisel yöntemlerle çözüm süresi bakımından rekabetçi olabilmesidir<sup>185</sup>.

#### 4.2.2.5.2. Kuşak aralığı

Her nesildeki yeni kromozom oranına kuşak aralığı denir<sup>186</sup>. Bu değer yüksek seçilmesi bir sonraki nesilde birçok yeni kromozomun olacağı anlamına gelir. Kromozomların uygunluk değerlerinin yüksek olması seçilme şanslarını artırır. En uygun değerlerin bir sonraki nesle doğrudan aktarılması bölgesel yakınsama sorununu doğurabilir. Uyumluluk göz ardı edilip rastsal seçim yapılırsa yakınsama zorlaşabilir. Uyumluluk ve rastsallık belli bir dengede olmalıdır. Kuşak farkı arttıkça seçim işlemi, kromozomların uygunluk değerleri dikkate alınarak yapılmaktadır<sup>187</sup>.

---

<sup>181</sup> Siriwardene, N. R. ve Perera, B. J. C. (2006). Selection of geneticalgorithmoperatorsfor urban drainage model parameteroptimization, *Mathematical and Computer Modelling*, 44, s. 417.

<sup>182</sup> Siriwardene ve Perera (2006), s. 417.

<sup>183</sup> Emel ve Taşkın (2002), s. 135.

<sup>184</sup> E. Önder (2011). *Araç rotalama problemlerinin parçacık sürü ve genetik algoritma ile optimizasyonu*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, s. 144.

<sup>185</sup> J. Hromkovic (2003). *Algorithmics for hard problems: Introduction to combinatorial optimization, randomization, approximationand heuristics*. (Second Edition). Germany: Springer, s. 461.'den aktaran Önder (2011), s. 142.

<sup>186</sup> Emel ve Taşkın (2002), s. 136.

<sup>187</sup> Önder (2011), s. 145.

#### 4.2.2.5.3. Seçim stratejisi (değişim mekanizması)

Seçim stratejisi, aynı zamanda hayatta kalan seçim mekanizması olarak da bilinir. Survivor seçimi veya çevresel seçimin amacı kromozomların kalitesine dayanarak kromozomlar arasında ayırımın kesinlikle yapılmış olmasıdır. Bu bağlamda eski kuşağı/nesli yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Bu stratejilerden aşağıda söz edilmiştir<sup>188</sup>.

**Kuşaksal strateji:** Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yavru ile yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz ve bu yüzden bu strateji en uygun stratejisi ile beraber kullanılmaktadır.

**En uygun stratejisi:** En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir, bundan dolayı çoğalma için en iyi çözüm her zaman elverişlidir.

**Denge durumu stratejisi:** Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir. Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir.

#### 4.2.2.5.4. Uygunluk fonksiyonunun ölçeklenmesi

Popülasyondaki değişkenliğin korunması gerekmektedir. Popülasyondaki uyum değerlerinin bir yöntem seçilerek ölçeklenmesi gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonunun ölçeklenmesinde rank, oransal, doğrusal, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur<sup>189</sup>. Problemin yapısına göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi evrimsel algoritmanın performansının etkileyen önemli kontrol parametrelerinden biridir<sup>190</sup>.

#### 4.2.2.6. Sonlandırma kriteri

EA'da yeniden üretim- değerlendirme- seçim çevrimi, önceden belirlenen çevrim sayısına ulaşıncaya ya da popülasyonun ortalama uygunluk değeri popülasyonda en iyi

<sup>188</sup> Emel ve Taşkın (2002), s. 133.

<sup>189</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>190</sup> Emel ve Taşkın 2002, s. 133.

kromozomun uygunluk değerine önceden belirlenen oranda yaklaşıncaya kadar devam eder<sup>191</sup>.

İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi popülasyon çeşitliliği de olabilmektedir<sup>192</sup>.

Eğer problemin iyi bilinen bir uygunluk değeri varsa sonlandırma kriteri olarak bu seçilir fakat sezgisel algoritmalar optimale yakın bir çözüm bulduğundan ve en iyi bilinen uygunluk değerine ulaşmanın bir garantisi olmadığından dolayı algoritma hiçbir zaman sonlanmayabilir. Bu durum algoritmanın kesinlikle sonlanmasını gerektiren koşulları gerektirir. Bu amaç için yaygın olarak kullanılan bazı seçenekler aşağıdaki gibidir:<sup>193</sup>

- İzin verilen maksimum CPU (Central Processing Unit / Merkezi İşlem Birimi) zamanı;
- Uygunluk fonksiyonu değerlendirme sayısı için limit;
- Uygunluk değerlerindeki iyileşme tanımlayan limit;
- Verilen bir eşik değeri için popülasyon çeşitliliğini karşılaştırma;

Projeler için durdurma koşulu maksimum nesil sayısıdır. İterasyon (yineleme) sayısı olarak da bilinir ve evrimsel algoritmalarda sıklıkla kullanılır.

#### 4.2.3. Diferansiyel Evrim algoritması

Bu çalışmada geliştirilen optimizasyon algoritmasının arama motoru olarak seçilen ve birçok farklı alanda başarıyla uygulanmalarından dolayı son yıllarda büyük ilgi gören, evrimsel hesaplama yönteminin bir parçasını oluşturan Diferansiyel Evrim (Differential Evolution (DE)) algoritması teknik yönleri ve temel prensipleri ile tanıtılmıştır.

DE, optimizasyon problemlerinde kullanılan evrimsel bir algoritmadır. DE algoritması ilk olarak 1995 yılında K. Price tarafından ortaya konmuştur<sup>194</sup>. DE algoritması çaprazlama, mutasyon ve seçim gibi genetik algoritmalarda bulunan benzer

<sup>191</sup> Goldberg (1989).

<sup>192</sup> Kapanoğlu (2011)

<sup>193</sup> E. Smith (...). s. 15-24.'ten aktaran Pak (2011), s. 23

<sup>194</sup> İ. Eke (2011). Diferansiyel Evrim algoritması destekli yapay sinir ağı ile orta dönem yük tahmini. *International Journal of Research and Development*, 3(1), s.30.

operatörleri kullanan ve son zamanlarda popüler olan popülasyon tabanlı, paralel bir arama algoritmasıdır.

Algoritma, genel bir Evrimsel Algoritma ideolojisiyle çalışmaktadır. Başlangıç popülasyonu rastgele seçimler tarafından meydana gelir ve değerlendirilir daha sonra algoritma, yavru üretmesi ve yavru değerlendirmesinin yer aldığı akış grafiğinde ve gelecek nesillerin oluşumunu sağlayacak olan kromozomların seçiminde görev alır. DE’de, ebeveyn popülasyonunda yer alan her bir kromozomun kendi yavrusunu üretmesi için çoğalma operatörü (mutasyon ve çaprazlama) kullanılır.

Orijinal bir DE sürecinin birkaç farklı türü mevcuttur. DE’nin yapısına açıklama getirmek amacıyla örnek bir DE süreci şöyle ifade edilebilir: Genel olarak algoritmada, her bir nesildeki mevcut popülasyonun kromozomları hedef vektörlerini oluşturur. Her bir hedef vektörü için rastgele seçilen iki vektör arasındaki fark, üçüncü bir vektör ile toplanarak mutasyon vektörü üretilir. Çaprazlama operatörü, hedef vektörünün parametrelerini mutasyon vektörünün parametreleri ile karıştırarak yeni bir vektör (yavru) üretir. Eğer yavru vektör hedef vektöründen daha iyi bir uygunluk değerini elde ediyorsa bir sonraki nesilde hedef vektörü vektörü yavru ile yer değiştirir<sup>195</sup>. Eğer elde edemiyorsa hedef vektör aynen yeni popülasyonda yer alır.

DE’nin önemli parametreleri; popülasyon büyüklüğü (N), çaprazlama sabiti (Cr) ve mutasyon ölçekleme faktörü (F) olarak sayılabilir. Diferansiyel Evrim algoritması aynı popülasyonun eski ve yeni jenerasyonları ile birlikte çalışır. Popülasyonun boyutu N parametresi tarafından ayarlanmaktadır. Popülasyon, değişkenlerin belirlenen sınırları içerisinde rastgele olarak belirlenir<sup>196</sup>.

Bir DE algoritmasının temel adımları aşağıdaki biçimdedir;

- Başlangıç popülasyonun oluşturulması,
- Değerlendirme,
- Aşağıdaki adımları durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarla,
- Mutasyon,
- Çaprazlama,
- Seçim.

<sup>195</sup> S. Panda (2009). Differential evolutionary algorithm for TCSC- based controller design, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 17, pp. 1618-1634.’ten aktaran Duman vd. (2011), s. 270.

<sup>196</sup> Panda (2009)’dan aktaran Duman vd. (2011), s. 270.

#### 4.2.3.1. Başlangıç popülasyonu

DE algoritması  $N$  adet kromozomdan oluşan bir popülasyon üzerinde işlem yapmaktadır. Popülasyon içerisindeki her bir kromozom ise  $D$  gerçek-değerli parametre (gen) içermektedir. Yani algoritma  $N$  tane  $D$  boyutlu vektörden oluşmaktadır. Popülasyon aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P_x = (x_i), \quad i=0,1,\dots,N_p-1,$$
$$x_i = (x_{k,i}), \quad k=0,1,\dots,D-1$$

Yukarıdaki ifadedeki  $i=0,1,\dots,N-1$ , indisi popülasyon içerisindeki kromozomu ve  $k=0,1,\dots,D-1$  indisi de parametre indisi olup kromozom içerisindeki hangi parametre ile işlem yapıldığını belirtmektedir.

Başlangıç popülasyonu oluşturulmadan önce her parametre için bir üst ve alt sınır belirlenmelidir. Bu değerler  $D$  boyutlu  $b_k^L$  ve  $b_k^U$  ile adlandırılacak iki vektör ile gösterilebilir. Buradaki  $L$  üst simgesi alt sınırı,  $U$  ise üst sınırı göstermektedir. Sınır koşulları belirlendikten sonra her vektörün her parametresine aksi belirtilmediği ve istenmediği sürece sınırlar içerisinde düzgün olarak dağılmış gerçek değerler atanır. Bu işlem denklem 4.21 ile gerçekleştirilebilir.

$$X_{k,i} = rand_k(0,1).(b_k^U - b_k^L) + b_k^L \quad (4.21)$$

Eşitlikteki  $rand_k(0,1)$  terimi bir rastgele sayı üreticini temsil etmektedir ve her  $k=0,1,\dots,D-1$  parametresi için  $[0,1)$  aralığında düzgün dağılımlı sonuçlar üreten bir fonksiyon olarak alınabilir.

#### 4.2.3.2. DE operatörleri

DE algoritmasının operatörleri farklı biçimlerde tanımlanabilmektedir. Hangi operatörlerin, hangi kurallar çerçevesinde kullanılacağı:

- “algoritma\baz vektör seçimi\vektör farkının sayısı\çaprazlama tipi”

olarak gösterilmektedir. Örnek olarak DE algoritmasında baz vektör olarak popülasyon içerisindeki en iyi kromozomun kullanıldığı, bir vektör farkının kullanıldığı ve çaprazlamada binom dağılımı kullanılan bir DE tipi için “DE\best\1\bin” notasyonu kullanılmaktadır. DE algoritmasında baz vektörünün rastgele seçildiği, bir vektör

farkının kullanıldığı ve çaprazlama tipi olarak binom dağılımının kullanıldığı bir DE tipi için “DE\rand\1\bin” notasyonu kullanılmaktadır.

DE algoritmasının evrim operatörleri aşağıdaki biçimde tanımlanabilir.

#### 4.2.3.2.1. Mutasyon operatörü

Parametrelerin alt ve üst sınır değerlerine göre başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulduktan sonra DE, yavru oluşturmak için popülasyon bireylerini mutasyon ve çaprazlama işlemlerine tabi tutmaktadır. Popülasyondaki her bir kromozom için mutant vektör oluşturulur. Mutant vektörü oluşturan mutasyon işlemi klasik DE için denklem 4.22’de gösterildiği gibi rastgele seçilen bir baz vektörü ile popülasyon içerisinde rastgele seçilmiş iki vektörün ağırlıklı farklarının toplamı olarak tanımlanır.

$$v_i = x_{r0} + F (x_{r1} - x_{r2}) \quad (4.22)$$

Denklem 4. 22’deki  $r0$  indisi rastgele seçilmiş baz vektörünü (kromozomunu),  $r1$  ve  $r2$  ise rastgele seçilmiş kromozomları göstermektedir. “ $v_i$ ” terimi mutant vektörü gösterir ve “ $i$ ” kromozom için indistir. Klasik DE için bir kural olarak  $r0 \neq r1 \neq r2$  durumu sağlamak zorundadır<sup>197</sup>. Klasik DE için baz vektörü rastgele seçilmektedir fakat bu bir kural değildir ve baz vektörü seçiminde farklı yöntemler de mevcuttur.

Örneğin “DE\best\1\bin” notasyonu için;

$v_i = x_{opt} + F (x_{r1} - x_{r2})$  ifadesi kullanılır. Baz vektör için en iyi uygunluk değerine sahip kromozom seçilir.

Eşitlikteki F terimi mutasyon-ölçekleme faktörü olarak adlandırılmaktadır ve  $[0,1+)$  aralığında gerçel bir değeri vardır. Algoritmanın önemli parametrelerinden biri olan mutasyon faktörünün doğru seçimi, yakınsamayı doğrudan etkilemektedir.

Mutasyon işlemi ağırlıklı farklar esasına dayandığı için baz vektörünün ve farkı oluşturan vektörlerin nasıl seçileceği önemli bir husustur. Bu vektörlerin mutasyon şemasında  $r1 = r2$  gibi tekrarlanması algoritmanın yakınsamasını düşürebilmektedir<sup>198</sup>. Algoritmanın çalışma prensibinin temel unsuru çaprazlama ile beraber mutasyon

<sup>197</sup> E. Aksoy (2007). *Diferansiyel Evrim algoritması ile anten dizilerinde örüntü şekillendirme*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, s. 21.

<sup>198</sup> K.V. Price vd. (2005). *Differential evolution: A practical approach to global optimization*. (1<sup>st</sup> Edition). Berlin: Springer, s.s. 20-182’den aktaran Aksoy (2007), s. 21.

şemasıdır ve baz vektörlerinin seçimi çaprazlama ile beraber algoritmanın stratejisini-notasyonunu belirlemektedir.

“DE\best\1\bin” mutasyon şeması binom çaprazlama ile birlikte kullanılmaktadır. Baz vektörü olarak doğru sonuca en yakın olan popülasyonun optimum bireyini almaktadır. Yakınsaması klasik DE şemasına göre daha hızlıdır fakat parametre sayısının büyük olduğu problemler için sonuç vermemektedir<sup>199</sup>. Bu çalışmada  $r0$  indisi yerine hedef vektör koyulmaktadır.

#### 4.2.3.2.2. Çaprazlama operatörü

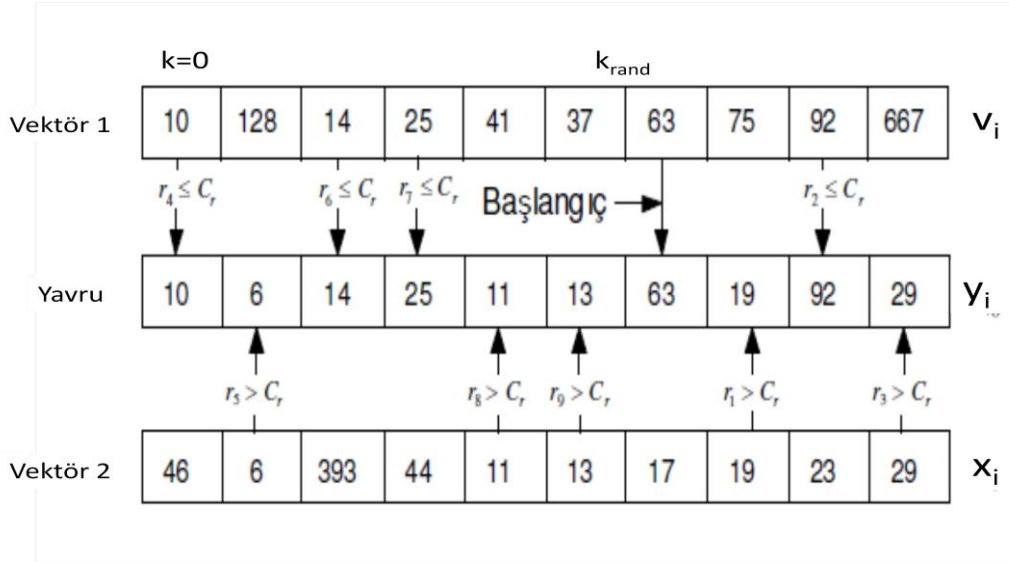
DE operatörlerinden biri olan çaprazlama işlemi, yavru vektörün parametrelerinin mutant vektör  $v_i$ ' den veya ebevenyn vektör  $x_i$ 'den gelmesine karar veren bir işlemdir. Klasik DE algoritması, binom çaprazlama ile her vektörü bir mutant vektörü ile denklem 4.23'te gösterildiği gibi çaprazlamaktadır.

$$y_{k,i} = \begin{cases} v_{k,i}, & rand_k(0,1) \leq C_r \quad \forall k = k_{rand} \\ x_{k,i}, & rand_k(0,1) > C_r \quad \wedge k \neq k_{rand} \end{cases} \quad (4.23)$$

Denklem. 4.23'te geçen  $C_r$  terimi çaprazlama olasılığını göstermektedir ve çaprazlama faktörü olarak adlandırılmaktadır.  $C_r$  kullanıcı tanımlı  $C_r [0,1]$  aralığında gerçel bir değer olup algoritma başında tanımlanmalıdır. Çaprazlama işlemi denklem 4.23'ten de anlaşılacağı üzere eğer üretilen rastgele sayı çaprazlama faktöründen küçük veya çaprazlama faktörüne eşitse, yavru vektörün parametresi olarak mutant vektörün parametresi alınmaktadır; aksi takdirde parametre  $x_i$  vektöründen alınmaktadır. Yavru vektörünün tüm parametrelerinin  $x_i$  vektöründen gelmesini önlemeye yardımcı olmak için rastgele seçilen bir parametre indisi kullanılmaktadır. Rastgele seçilen bu indis işlem yapılan parametre indisi ile aynı olduğu zaman parametre mutant vektöründen alınmaktadır.

DE algoritmasında binom çaprazlama işlemi öncelikle rastgele bir başlangıç parametresi seçip bu parametreyi 1. vektörden yavru vektöre kopyalamaktadır. Şekil 6'da DE için binom çaprazlama işlemi ile yavru vektörün oluşturulması gösterilmiştir.

<sup>199</sup> Aksoy (2007), s. 22.



Şekil 6. DE İçin Binom Çaprazlama ile Yavru Vektörün Oluşturulması

**Kaynak:** Aksoy, 2007:28.

#### 4.2.3.2.3. Seçim operatörü

Evrimsel algoritmaların büyük çoğunluğu, popülasyon tabanlı çalışırlar. En iyi sonuca yakınsama sağlanabilmesi için her nesilde popülasyonun güncellenmesi gerekmektedir. Bu işlem çoğu zaman iyinin hayatta kalması prensibine dayanır.

Klasik DE’de seçim işlemi ebeveyn vektör popülasyonu ile yavru vektör popülasyonu karşılaştırılmaktadır. Klasik DE bu işlemi gerçekleştirmektedir. Yavru vektör oluşturulduktan sonra  $y_i$  ve  $x_i$  vektörleri arasından amaç fonksiyonu değeri daha uygun olan vektör bir sonraki neslin bireyi olmaktadır. Eğer seçimi yavru vektör kazanmışsa kendisiyle kıyaslanan  $x_i$  vektörünün yerini almaktadır; aksi durumda,  $x_i$  vektörü en az bir nesil daha popülasyonun bireyi olarak kalmaktadır. Bu işlem minimizasyon problemleri için denklem. 4.24’te gösterilmiştir.

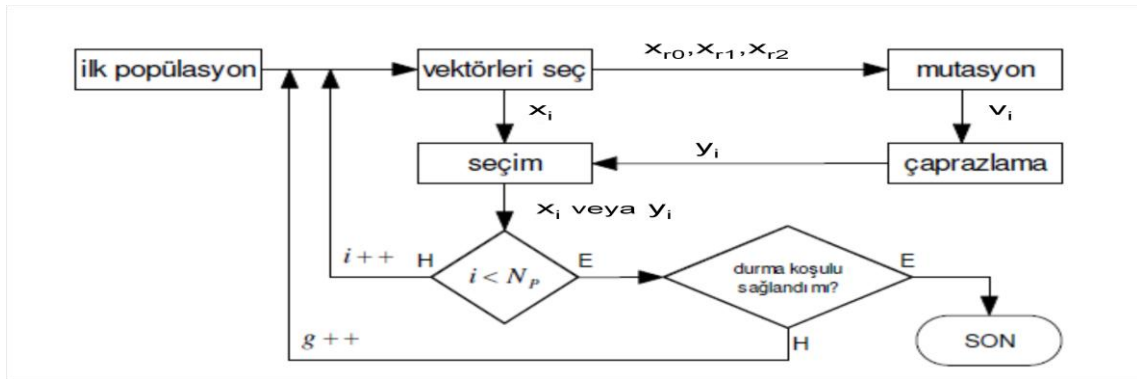
$$x'_i = \begin{cases} y_i, & f(y_i) \leq f(x_i) \\ x_i, & f(y_i) > f(x_i) \end{cases} \quad (4.24)$$

İfade edilen bu yöntem genellikle, açgözlü (greedy) seçim olarak adlandırılır. Yavru çözümü ve onun ebeveyninden daha iyi olanı seçilir. Bu sayede yakınsama hızı açısından genetik algoritmaya göre önemli bir avantaj sağlanmış olur<sup>200</sup>.

<sup>200</sup> Eke (2011), s. 30.

#### 4.2.3.3. DE algoritmasının işleyişi

Optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan Diferansiyel Evrim algoritması, popülasyon temelli güçlü bir gelişim algoritmasıdır<sup>201</sup>. Bu tür algoritmalar genel amaçlı sayısal optimizasyon algoritmaları olarak da nitelendirilmektedir. DE algoritmalarında, genetik algoritmalardan farklı olarak, gelişmiş ve etkili bir mutasyon işlemi kullanılmaktadır<sup>202</sup>. Amaç vektör çiftlerinin farkına dayalı olan mutasyon işlemi, amaç vektörlerinin kendi dağılımları tarafından belirlenir. Ayrıca bir ebeveyn vektörden, bir yavru vektörü üretmek için mutasyon ve çaprazlama birlikte kullanılır. DE algoritmasının akış diyagramı aşağıdaki Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Diferansiyel Evrim Algoritmasının Akış Diyagramı

**Kaynak:** Aksoy, 2007:30.

#### 4.2.3.4. DE algoritmasının seçilme sebepleri

Çalışmada DE algoritmasının seçilmesinin sebepleri aşağıda ifade edilmiştir.

- Yap İşlet Devret projesi için geliştirilen optimizasyon probleminde karar değişkenlerinin karışık tamsayılı olması nedeniyle, gerçek değerli kodlamayla çalışılması gerekmektedir. Diferansiyel Evrim algoritması gerçek değerli kodlamayla çalışmaktadır. Ayrıca DE algoritması karışık tamsayılı karar değişkenleri olan optimizasyona kolaylıkla uyarlanabilir.

<sup>201</sup> R. Storn (1997). Differential Evolution, A simple and efficient heuristic strategy for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, s. 341-359.; V.P Kenneth (1999). An introduction to Differential Evolution, in new ideas in optimization, McGraw-Hill publishing Company, pp.79-108.’den aktaran M.Y. Özsağlam ve M. Çunkaş. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması. *Journal of Polytechnic*, 11(4), s. 301.

<sup>202</sup> Özsağlam ve Çunkaş (2008), s. 301.

- Karar değişkenlerinin sınırlar dâhilinde belirtilmesi ihtiyacı vardır ve DE bu amacı kolaylıkla gerçekleştirebilir.
- DE yeni yeni gelişen popüler bir algoritmadır.
- DE parametre sayısının az olduğu problemlerde başarılıdır.
- Güncel çalışmalardan edinilen bilgiye göre DE algoritması genetik algoritmalarından daha hızlı sürede optimale yaklaşmaktadır<sup>203</sup>.
- DE, basit, kolayca kullanılabilir ve değiştirilebilirdir.
- DE'nin etkili bir küresel optimizasyon kabiliyeti vardır.
- Excel'den veri alınıp okunacağı için hızlı bir algoritmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

#### 4.2.4. Çok amaçlı EA (MOEA)

Gerçek dünyada, tasarımların veya problemlerin tamamına yakını birden fazla ve birbiriyle çelişebilen amaçların eş zamanlı optimizasyonunu gerektirir. Bu çalışmada, sponsorların, hükümetin ve borç vereninin birbirleriyle çelişen amaçları vardır ve imtiyazlı öğelerin optimal bileşimi sağlanmalıdır.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde öncelikle doğrusal modellemeler kullanılmış, ancak bu yöntemler, her problemin çözümü için yeterli olmadığı görülmüştür. Son zamanlarda, çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde Evrimsel Algoritmalar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır<sup>204</sup>.

Çoklu amaç durumunda amaçların her birini sağlayan tek bir çözümün bulunması her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda problem bilgisine sahip olan karar vericiden, amaçların her biri için kabul edilebilir düzeyde olan alternatif çözümlerden seçim yapması istenir. Bu çözümlerin her birine Pareto-Optimal Çözüm, bu çözümlerin kümesine de Pareto-Optimal Çözümler Kümesi denir. Pareto-Optimal çözüm; amaçların herhangi biri için en kötü olmayan ve en azından bir amaç için diğerlerinden daha iyi olan çözümdür. Diğer bir ifadeyle çözüm kümesindeki diğer herhangi bir çözüm tarafından bastırılmamış olan çözümdür<sup>205</sup>.

<sup>203</sup> Karaboğa (2004), s. 179.

<sup>204</sup> A. Osyczka (2002). *Evolutionary algorithms for single and multicriteria design optimization*. New York: Physica Verlag.' den aktaran T. Sağ ve M. Çunkaş (2009). Çok amaçlı genetik algoritmalar için bir çevrimdışı performans değerlendirmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*. Karabük: Karabük Üniversitesi, s. 1.

<sup>205</sup> Sağ ve Çunkaş (2009), s. 1.

EA uygun çözümlerin bir dizisini eş zamanlı keşfeder. Böylelikle bu yöntemler, matematiksel programlama yöntemlerinin aksine algoritmanın tek bir çalıştırılmasıyla, en azından yaklaşık olarak, Pareto optimal çözümlerin genel bir seti için arama sağlar<sup>206</sup>.

EA'nın kullanıldığı çok amaçlı optimizasyonda, ilk pratik yaklaşım VEGA, vektör değerlendirmeli genetik algoritma olmuştur. VEGA popülasyon temelli bir yaklaşım olup popülasyon, amaç fonksiyon sayısı kadar alt-popülasyonlara bölünür ve her bir amaç kendi popülasyonunda ayrıca araştırılır. Daha sonra elde edilen çözümler yeniden tek bir popülasyon içinde birleştirilir. Son olarak standart operatörler (çaprazlama ve mutasyon) bu toplu popülasyona uygulanarak yeni popülasyon üretilir<sup>207</sup>. VEGA'nın bilinen genetik algoritmadan ayrılan tek yanı birden fazla olan amaçlar için amaç fonksiyonu sayısınca arama uzayı alt bölgelere ayrılmasıdır. Shaffer'ın önermiş olduğu VEGA; çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde genetik algoritmaların kullanılması bakımından öncü bir çalışma niteliği taşımaktadır. Ancak popülasyon temelli ve ilkel bir seçim stratejisine sahip olmasından dolayı az sayıda ve yalnızca uç noktadaki çözümlere odaklanan VEGA'nın, verimsiz bir algoritma olduğu açıktır<sup>208</sup>.

VEGA'dan sonra çok amaçlı GA (MOGA) yaklaşımı ileri sürülmüştür. Murata'nın önerdiği MOGA popülasyon temelli bir evrimsel optimizasyon algoritmasıdır<sup>209</sup>. Bu yaklaşımda çoklu amaçlar, geleneksel yöntemlere paralellik göstererek değişken ağırlıklı katsayılarla sayısal bir fonksiyon içinde birleştirilir. Rasgele üretilen bu katsayılar sayesinde MOGA, VEGA'ya göre daha iyi bir dağılım gösterir ancak kötü bir yakınsamaya sahiptir<sup>210</sup>.

Srinivas ve Deb tarafından önerilen bastırılmamış sınıflandırmalı genetik algoritmada (NSGA) popülasyon bastırılmamışlık ilkesiyle derecelendirilir<sup>211</sup>. Tüm bastırılmamış bireyler sahte uygunluk değeri ile bir kategori içinde sınıflandırılır.

<sup>206</sup> F. Xue (2004). *Multi-objective differential evolution: Theory and applications*, Ph.D Thesis. Rensselaer Polytechnic Institute'den aktaran Pak (2011), s. 24.

<sup>207</sup> J. Horn; N. Nafpliotis ve D.E. Goldberg (1994). Niche Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization. *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, IEEE World Congress on Computational Intelligence'den aktaran Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>208</sup> Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>209</sup> T. Murata (1997). *Genetic Algorithms for Multi-Objective Optimization*, Doctoral Thesis. Osaka Prefecture University'den aktaran Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>210</sup> Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>211</sup> N. Srinivas ve K. Deb (1991). Multiobjective optimization using nondominated sorting genetic algorithms. *Journal of Evolutionary Computation*, 2 (3), 221-248.

Kategori sayısı popülasyon boyutuyla orantılıdır. Aynı kategorideki bireylerin hepsine aynı uygunluk değeri atanarak eşit seviyede yeniden üretilme potansiyeli sağlanır. Daha sonra popülasyonda çeşitliliği sağlamak için paylaşım metodu uygulanır. İlk yüzeydeki bireyler geçici olarak ihmal edilir ve kalan popülasyon aynı süreçten geçirilerek ikinci bastırılmamış yüzey tanımlanır. Önceki yüzeyin minimum paylaşılan sahte uygunluk değerinden daha küçük tutulan yeni bir sahte uygunluk değeri yeni yüzeydeki tüm bireylere atanır. Bu işlem popülasyondaki tüm bireyler sınıflandırılincaya kadar devam eder<sup>212</sup>.

Daha sonra Deb vd. (2002) Pareto-Optimal yüzeyde daha geniş bir dağılım bulabilen ve daha az bir hesaplama karmaşıklığına sahip olan, hızlı ve seçkinlikli çok amaçlı NSGA'yı (NSGA-II) geliştirdiler<sup>213</sup>. Bu yaklaşımda ilk olarak rasgele ebeveyn popülasyonu oluşturulur. Popülasyon, pareto üstünlüklerine dayalı olarak sıralanır. Her çözümün uygunluğu, kendi bastırılmamışlık seviyesine eşit olarak atanır. Sonra, bilinen ikili turnuva seçimi, çaprazlama ve mutasyon işlemcileri, N boyutlu popülasyonun bireylerini oluşturmak için ebeveyn popülasyona uygulanır. Seçme işlemi ise, önceki en iyi bastırılmamış çözümlerle mevcut popülasyon karşılaştırılarak gerçekleştirilecektir. Bu yüzden, başlangıç jenerasyonundan sonra prosedür farklı bir şekilde işler<sup>214</sup>.

Literatürde kullanılan diğer yaygın bir uygulama Kuvvet Pareto Evrimsel Algoritması 2 (SPEA2), 1999'da Zitzler tarafından önerilen ve genellikle başarılı sonuçlar üreten SPEA algoritmasının; uygunluk ataması, yoğunluk tahmini ve arşiv küçültme gibi konulardaki bazı eksiklikleri göz önüne alınarak geliştirilmiştir<sup>215</sup>.

Mainul Islam (2008) Yap İşlet Devret modeli yatırım projelerinin değerlendirilmesinde çok amaçlı optimizasyon için NSGA II yöntemini tercih etmiştir.

Son zamanlarda ayırtırmaya dayalı EA geliştirilmeye başlanmıştır. Güncel çalışmalarda hayli yüksek başarı oranı gösteren bu algoritmaların yeni yeni geliştirilmeye başlanması ve yaygın olarak kullanılan NSGA2 yöntemine alternatif olarak kabul edilmesi nedeniyle tezimizde bu algoritmalar kullanılacaktır. Aşağıdaki kısımda bu ayırtırmaya dayalı çok amaçlı EA açıklanmıştır.

---

<sup>212</sup> Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>213</sup> K. Deb vd (2002). A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multiobjective optimization: NSGA-II, *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, 6 (4) 182–197.

<sup>214</sup> Sağ ve Çunkaş (2009)

<sup>215</sup> E. Zitzler vd. (2001). Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results, *IEE Trans on Evolutionary Computation*, 8(2), 173–195.

#### 4.2.5. Ayrıştırılmaya dayalı çok amaçlı DE algoritması (MOEA/D-DE)

Çok amaçlı optimizasyon problemi (MOP) aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\min \{f_1(x_i), \dots, f_m(x_i)\}, x \in \Omega \quad (4.25)$$

$x_i = (x_1, \dots, x_n)^T$  karar değişkenleri vektörüdür.

$n$  = karar değişkenlerinin sayısıdır.

$i = (1, \dots, N)$  çözümler için indis olmak üzere,

$N$  = popülasyon büyüklüğü yani kromozoma kodlanmış çözüm sayısıdır.

$f_j(x_i)$  = amaç fonksiyonlarını temsil etmektedir.

“ $j$ ” indisi  $j = (1, \dots, m)$  olmak üzere,

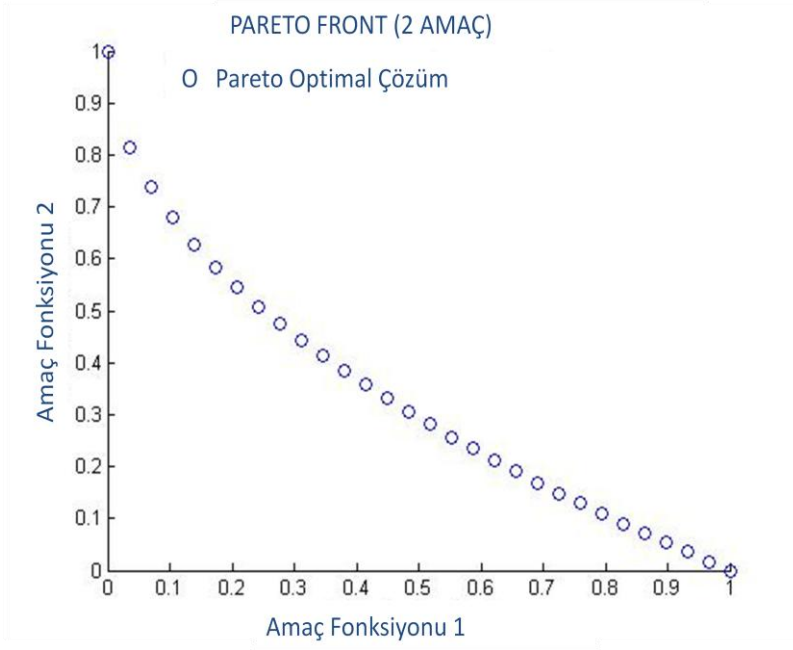
$m$  = amaç fonksiyonlarının sayısını ifade eder.

$\Omega$  = çözüm uzayıdır.

Çok amaçlı minimizasyon probleminde,  $x_1$  çözümünün  $x_2$  çözümüne baskın olabilmesi sadece ve sadece her bir  $j \in (1, \dots, m)$  için,  $f_j(x_1) \leq f_j(x_2)$  durumunda mümkündür ve ancak en az bir  $j \in (1, \dots, m)$  indiste  $f_j(x_1) < f_j(x_2)$  olduğunda mümkündür. Bir çözümün başka bir çözüme baskın olabilmesi her amaç için diğerinden daha iyi uygunluk değerine sahip olmasıyla ilgilidir. Eğer  $f(x)$ 'in  $f(x^*)$ 'e baskın olduğu bir  $x \in \Omega$  noktası yoksa  $x^* \in \Omega$  noktası Pareto optimal durumdadır. Pareto-Optimal çözüm; amaçların herhangi biri için en kötü olmayan ve en azından bir amaç için diğerlerinden daha iyi olan çözümdür. Diğer bir ifadeyle çözüm kümesindeki diğer herhangi bir çözüm tarafından bastırılmamış olan çözümdür<sup>216</sup>.  $f(x^*)$  Pareto-optimal amaç vektörüdür. Tüm Pareto-optimal noktaların bir araya gelmesi sonucu oluşan takım Pareto Set (pareto optimal çözümler kümesi) adlandırılmaktadır. Tüm Pareto-optimal amaç vektörlerin bir araya gelmesi sonucu oluşan takım ise Pareto Front (PF) olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 8'de iki amaçlı optimizasyon için PF gösterilmiştir.

---

<sup>216</sup> Sağ ve Çunkaş (2009)



Şekil 8. İki Amaçlı Optimizasyon İçin Pareto-Front Gösterimi

#### 4.2.5.1. EA üzerinde ayrıştırma uygulaması

YİD projelerinde sponsorların amaçlarıyla kredi veren kuruluşun amaçları birbiriyle çelişmektedir. Bu sebeple bu problem tipi, pareto tabanlı bir problemdir. Çok amaçlı problemde amaç fonksiyonu, tüm  $f_j(x_i)$  fonksiyonlarının fonksiyonudur ve skaler amaçlı optimizasyon problemleri için optimal çözüm sağlayabilmektedir. Bu durum, PF yaklaşımının bir dizi skaler amaçlı optimizasyon alt problemlerine ayrışabileceğini göstermektedir<sup>217</sup>.

Çok amaçlı EA (MOEA)'ya ayrıştırma uygulandığında, bu algoritmalar çok amaçlı problemi bütün olarak ele almazlar. Herhangi bir skaler optimizasyon problemini, her bir kromozom çözümüyle ilişkilendirirler. Her bir kromozom için atanan ağırlıklar  $f_j(x_i)$ 'leri optimize etmede farklı değerler alırlar. Ayrıştırılan skaler amaçlı optimizasyon probleminde, tüm çözümler kendi amaç fonksiyonu değerlerine göre mukayese edilebilir ve tüm kromozoma kodlanmış çözümler skaler amaçlı optimizasyon problemi olarak görülür ve çözümler sadece tek bir optimal sonuca ulaşmak görevindedir.

MOEA'ların hedefi tüm Pareto Front'u temsil için pareto optimal çözümlerin mümkün olduğunca çeşitli bir dizisini üretmektir. Bundan dolayı, son zamanlarda

<sup>217</sup> Pak (2011), s. 39.

yapılan MOEA araştırmalarındaki temel çıkarım uyumluluk tayini olmuştur. Popüler uyumluluk atama stratejileri; alternatif amaç bazlı uyumluluk tayini olan Vektör Değerlendirmeli Genetik Algoritma (VEGA) gibi, baskınlık tabanlı uyumluluk ataması olan Pareto Arşivleme Evrimsel Stratejisi (PAES) gibi, Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma ((NSGA-2) ve Kuvvet Pareto Evrimsel Algoritma (SPEA2) gibi stratejileri içermektedir<sup>218</sup>.

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, amaçları sağlayan optimal noktalar kümesi elde edilir. Elde edilen bu noktaların tüm Pareto Front'u temsil etmesi için VEGA, NSGA II, SPEA2 vb. algoritmalarla rekabet edebilen ayrıştırmaya dayalı evrim algoritmaları geliştirilmiştir<sup>219</sup>. Ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı EA (MOEA/D) optimizasyon yöntemiyle, PF yaklaşımı bir dizi skaler amaçlı optimizasyon alt problemlerine ayrıştırılmaktadır<sup>220</sup>.

Ayrıştırmaya dayalı evrimsel algoritmaların geliştirilmesiyle birlikte ayrıştırmaya dayalı Diferansiyel Evrim (MOEA/D-DE) algoritması geliştirilmiştir. Daha hızlı sürede daha az algoritma karmaşıklığı ile optimale yakın çözümler üretebilmektedir (Bakınız. Zhang, Q. ve H. Li, 2007).

#### 4.2.5.1.1. Ayrıştırma yöntemi

Ayrıştırma işlevlerini yapılandırmak amacıyla kullanılan birçok yöntem vardır, bunlardan en popüler olanlarından biri Tchebycheff yaklaşımıdır<sup>221</sup>.

Tchebycheff yöntemi PF yaklaşımını farklı skaler optimizasyon problemlerine ayırmak için kullanılabilir<sup>222</sup>. Pareto optimal vektörleri dizisinin oluşumuna yol açan makul sayıda büyük ve eşit dağılımlı ağırlık vektörlerinin PF'a uygunluğu oldukça iyidir<sup>223</sup>.

Ayrıştırma yöntemi olarak belirlenen Tchebycheff yaklaşımında,  $\lambda_m^N$  ağırlık vektörü kullanılmaktadır,  $m$  amaç fonksiyonlarının sayısıdır ve  $N$  popülasyon

<sup>218</sup> Pak (2011), s. 40.

<sup>219</sup> Q Zhang ve H. Li (2007). MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11( 6), 1-20.

<sup>220</sup> G.G.E Gielen ve R. A. Rutenbar (2000). Computer-Aided Design of Analog and Mixed- Signal Integrated Circuits. *Proceedings of the IEEE*, 88(12).

<sup>221</sup> Zhang ve Li (2007).

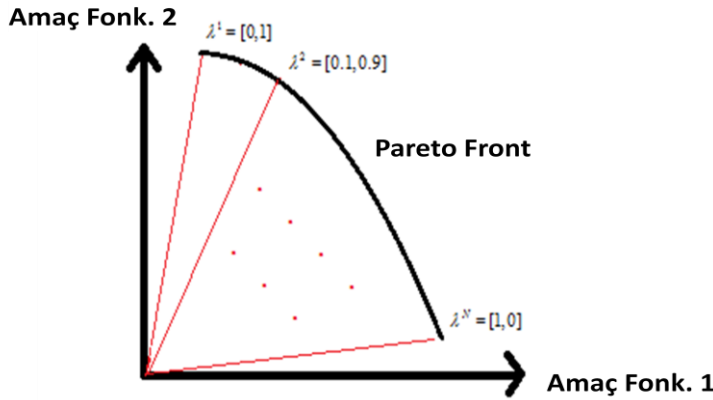
<sup>222</sup> Zhang ve Li (2007).

<sup>223</sup> Pak (2011), s. 40.

büyüküğüdür.  $\lambda^i = (\lambda_j, \dots, \lambda_m)$ 'nin ağırlık vektörü olduğunu varsayalım,  $\lambda_j \geq 0$  için ve amaç fonksiyonlarının sayısı “m” olan,  $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$  olmalıdır.

Ağırlık matrisiyle birlikte, optimize edilecek her bir amaç fonksiyonu, Pareto cephesindeki kromozomlarla ilintili olan diğere amaç fonksiyonlarına göre optimizasyon işlemini zorlaştıran ya da kolaylaştıran farklı yapıda bir ağırlık vektörüne sahip olacaktır.

Ağırlık matrisini oluşturabilmek için popülasyonda yer alan her bir kromozom/çözüm ( $x_i$ ) için ağırlıklar atanır. Popülasyondaki 1’inci kromozom ya da karar vektörü için  $\lambda^1 = [1,0]$  ağırlık vektörü atanmışsa  $x_1$  kromozomu 1. amaç fonksiyonunu dikkate alacak ve 2. amaç fonksiyonunu dikkate almayacaktır. 2 amaçlı bir problem için ağırlıklar aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 9. Ağırlık Matrisinin Uyum Fonksiyonu Üzerine Etkisi

**Kaynak:** Pak, 2011:53.

Örneğin; minimize edilecek iki amaçlı bir optimizasyon probleminde, N adet kromozoma sahip son Pareto cephesinde toplamları 1’e eşit olan iki ağırlık vektörü değeri içeren N sayıda ağırlık vektörü yer alacaktır. Yukarıda görüldüğü üzere, Pareto dizgisinin sol tarafı için, ağırlık vektörü  $\lambda^1=[0,1]$ ’in sadece 2. amaç fonksiyonunu dikkate almasından dolayı, ikinci amaç fonksiyonu tek amaçlı optimizasyon durumundaki gibi minimize edilecektir.  $\lambda^N$  birinci amaç fonksiyonunu minimize etmek için aynı mantıkla çalışacaktır.  $\lambda^2[0.1,0.9]$  gibi bir ağırlık vektörü, her iki amaç fonksiyonunu da minimize etmek için yardımcı olacaktır. Ancak, bu fonksiyonların adil biçimde mübadele edilmesi konusuna gelindiğinde, ikinci amaç fonksiyonunun ağırlık değeri daha büyük olduğu için minimize edilme şansı da daha yüksektir. İlerleyen

kısımlarda, algoritmanın yapısının açıklanmasıyla ağırlık tayininin anlamı daha iyi anlaşılacaktır.

Yukarıda görüldüğü üzere, eşit biçimde dağılmış ağırlık matrisi, pareto cephesinin de adil biçimde dağılmasını sağlamakta ve daha fazla çeşitliliğe sahip olabilmek için pareto setinin koşullarını sınırlandırmaktadır. İyi pareto optimal çözümler ağırlık vektörleri tarafından elde edilir, eğer ağırlık vektörü değişirse, pareto optimal sonuçları da değişecektir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, kayda değer bir çözüm dizisine ulaşabilmek için ağırlık vektörlerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Vektörlerin her bir kromozoma eşit bir şekilde tayin edilmesi karar uzayında yer alan uç noktalar arasında bir köprü oluşturur. Aksi takdirde, çözüm kısıtlı bir alanda sıkışıp kalabilir<sup>224</sup>.

Bu çalışmada ağırlık matrisi sadece 2 amaçlı optimizasyon problemi için tayin edilmiştir. Ağırlık matrisini oluşturma çok basit bir mantık üzerine kuruludur ve aşağıda gösterilmiştir.

N adet kromozom için, ağırlık matrisi

$$\lambda^a = [(1-(a-1))/(N-1), (a-1)/(N-1)] \quad (4.26)$$

formunda yer alır ve “a” kromozom numarasıdır, değeri popülasyon boyutuna göre 1 ile N arasında değişir<sup>225</sup>.

$$\lambda^1 = [1, 0]$$

$$\lambda^2 = [1 - 1 / (N - 1), 1 / (N - 1)]$$

$$\lambda^3 = [1 - 2 / (N - 1), 2 / (N - 1)]$$

.

.

$$\lambda^{N-1} = [1 - (N - 2) / (N - 1), (N - 2) / (N - 1)]$$

$$\lambda^N = [0, 1]$$

#### 4.2.5.2. MOEA/D-DE algoritmasının yapısı

$\lambda^1 \dots \dots \lambda^N$  ‘nin eşit ağırlıklı dağıtılmış vektörler dizisi olduğunu ve  $z^*$ ’nin amaç fonksiyonları için referans noktası olduğunu varsayalım.

$$\min \{f_1(x_i), \dots, f_m(x_i)\}, x \in \Omega \quad (4.27)$$

<sup>224</sup> Pak (2011), s. 54.

<sup>225</sup> Zhang ve Li (2007).

Denklem 4.27'deki çok amaçlı minimizasyon problemi, *Tchebycheff* ayrıştırma yöntemi kullanılarak, N sayıda skaler optimizasyon alt problemlerine(kromozomlarına) ayrıştırılabilir<sup>226</sup>.

k'inci kromozom için amaç fonksiyonu:  $\lambda^k = (\lambda_1^k, \dots, \lambda_m^k)^T$  için

$$\min g^{te}(x|\lambda, z^*) = \max_{1 \leq i \leq m} \{\lambda_j |\bar{f}^i\} \quad (4.28)$$

$g^{te}$  = *Tchebycheff* ayrıştırma yöntemi kullanılarak optimize edilecek kromozom

Tek bir çalıştırmada, algoritmalar eşzamanlı olarak tüm amaç fonksiyonlarını optimize (bu örnekte minimize) ederler. Denklemde, bir x kromozomu için normalize edilmiş amaç fonksiyon değerleri, x kromozomu için belirlenmiş ağırlık vektörleriyle çarpılarak uyum değerleri her bir amaç bulunur. Amaç, tüm amaç fonksiyonlarının minimizasyonu olduğundan minimum değere sahip uyumluluklar göz ardı edilirler. Maksimum uyumluluk değerleri seçilerek, çözümlerin her bir amaç için kıyaslanmasında kullanılır. Maksimumların içinden minimum olanlar daha iyi uyum değerine sahiptir.

$\lambda^i$ 'de  $g^{te}$  sürekliliğe sahiptir ve  $\lambda^i$  ve  $\lambda^k$  birbirine yakınsa,  $g^{te}(x | \lambda^i, z^*)$ 'nin optimal çözümü  $g^{te}(x | \lambda^k, z^*)$ 'ye yakın olmalıdır. Bu duruma komşuluk yapısı adı verilmiştir. Ağırlık vektörleriyle birlikte  $\lambda^i$ 'ye yakın olan  $g^{te}$ 'ler hakkında sahip olunan bilgilerden  $g^{te}(x | \lambda^i, z^*)$ 'yi optimize etmek maksadıyla faydalanılmaktadır. Bu durum *Tchebycheff* yaklaşımı kullanılarak ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı evrimsel algoritmaların yapısını oluşturmaktadır<sup>227</sup>. Şöyle ki kromozomlara ağırlık tayini yapılarak ilgili kromozomun hangi amaca ne derece hizmet edeceği belirlenir ve bu kromozom buna göre evrimleştirilir. Birbirine yakın olan kromozomların yani komşuların bilgilerinden yararlanılarak optimizasyon yapılır.

Ayrıca  $f_j(x)$  değerlerinin normaleştirilmesi gerekmektedir. Çünkü ağırlık değerleriyle çarpılan uyum değerlerinin problemin yapısından kaynaklanan büyük uyumluluk değerleri için yanlış hesaplamaya yol açmaması gerekir. Normalizasyon için aşağıdaki bağıntı uygulanır.

$$\bar{f}^i = \frac{f_j - z_j^*}{z_j^{nad} - z_j^*} \quad (4.29)$$

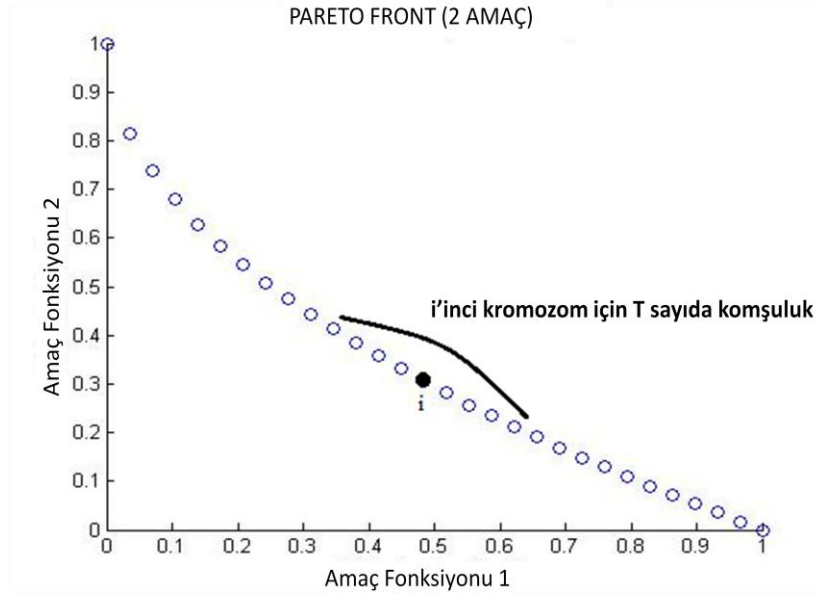
<sup>226</sup> Zhang ve Li (2007).

<sup>227</sup> Zhang ve Li (2007).

İfade yer alan yer alan  $Z_j^{\text{nad}}$  terimi o ana kadar karşılaşın en kötü uyum değeridir ve  $z_j^*$  terimi o ana kadar karşılaşılan en iyi uyum değeridir.

#### 4.2.5.2.1. Komşuluk kavramı

MOEA/D'de,  $\lambda^i$  ağırlık vektörünün komşuluğu vektöre en yakın olan  $\{\lambda^1 \dots \dots \lambda^N\}$  aralığı olarak tanımlanmıştır.  $i$ 'inci kromozomun komşuluğu  $\lambda^i$ 'nin komşuluğunda yer alan ağırlık vektörlerine ait tüm kromozomları içermektedir. Problemin optimizasyonu için sadece  $i$ 'inci kromozoma komşu olan kromozomların kesin çözümlerinden faydalanılmaktadır.



Şekil 10. İki Amaçlı Problem İçin Komşuluk Yapısı

**Kaynak:** Pak, 2011:53.

$T$  terimi,  $N$  adet kromozomlu popülasyonun içinde yer alan komşuluk miktarını simgelemektedir.  $T=5$  ise  $\lambda^i$ 'ye en yakın 5 ağırlık vektörünü ifade etmektedir. 5 kromozomlu bir popülasyonda eğer minimize edilecek 2 amaç varsa ağırlık vektörleri  $\lambda^a=[1-(a-1)/(N-1),(a-1)/(N-1)]$  formundaki gibi belirlenirse;

$$\lambda^1=[1,0]$$

$$\lambda^2=[0.75,0.25]$$

$$\lambda^3=[0.50,0.50]$$

$$\lambda^4=[0.25,0.75]$$

$$\lambda^5=[0,1]$$

olur ve  $T=3$  belirlenmişse;  $\lambda^1=[1,0]$  komşuluğundaki vektörler en yakın 3 vektör olan  $\lambda^1=[1,0]$ ,  $\lambda^2=[0.75,0.25]$ ,  $\lambda^3=[0.50,0.50]$  olmaktadır. En yakın ağırlık vektörleri 2 nokta arasındaki uzaklık Öklid mesafesi formülünden bulunur. Aşağıdaki tabloda  $N=5$  kromozom ve 2 amaç için eşit dağılmış ağırlıklar matrisi ve kromozomlarla ilişkilendirilmesi gösterilmiştir. Ağırlıklara göre amaç 1 ve amaç 2'nin uyum değerleri, her bir kromozom için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo 5. İki Amaçlı Problem İçin Kromozomlara Ağırlık Değerleri Atanması

Ağırlık $\lambda_i$	Amaç1	Amaç2	K1 uyum $(f_{1,2})^1$	K2 uyum $(f_{1,2})^2$	K3 uyum $(f_{1,2})^3$	K4 uyum $(f_{1,2})^4$	K5 uyum $(f_{1,2})^5$
$\lambda_1$	1	0	$1*K1, 0*K1$				
$\lambda_2$	3/4	1/4		$\frac{3}{4}*K1, \frac{1}{4}*K1$			
$\lambda_3$	1/2	1/2			$\frac{1}{2}*K1, \frac{1}{2}*K1$		
$\lambda_4$	1/4	3/4				$\frac{1}{4}*4, \frac{3}{4}*K4$	
$\lambda_5$	0	1					$0*K5, 1*K5$

#### 4.2.5.2.2. Algoritmanın çalışma düzeni

Ayrıştırırmaya dayalı çok amaçlı Diferansiyel Evrim (MOEAD/DE) algoritmasının Tchebycheff yaklaşımıyla algoritmanın her bir jenerasyonda gösterdiği özellikler aşağıda belirtilmiştir<sup>228</sup>.

- Popülasyon büyüklüğü  $N$ 'dir. Bileşenleri  $(x_1, \dots, x_n) \in \Omega$ .  
 $i = \{1, 2, \dots, N\}$  kromozom için indis.  
 $x_i = i$  inci kromozomun kesin çözümüdür;
- $z_j^* = f_j$  amacı için o ana kadar bulunmuş en iyi değerdir.  $z^* = (z_1^* \dots z_m^*)^T$ ,  
 $j = \{1, \dots, m\}$  amaç fonksiyonlarının sayısıdır.
- $F_j V_i = x_i$  için uyum değerleridir,  $[F_1 V_1, \dots, F_m V_N]$ , örneğin,  $F_j V_i = F_j(x_i)$  her bir  $i = (1, \dots, N)$  için ve  $j = (1, \dots, m)$  için.

<sup>228</sup> B. Liu vd. (2010). An enhanced MOEA/D-DE and its application to multiobjective analog cell sizing, *IEEE, Congress on Evolutionary Computation*, 23 July.

- EP, yani dış popülasyon olarak da bilinen ekstra bir popülasyon oluşturmak için depolanan kromozomlar baskın karakterli değildir. Bu durumda algoritma şöyle çalışır;

Girdiler;

- $\min \{f_1(x_i), \dots, f_m(x_i)\}, x \in \Omega$ ;
- $N =$  Popülasyon büyüklüğü;
- Durma kriteri; (max iterasyon sayısı)
- $\lambda^1, \dots, \lambda^N$  ağırlık vektörlerinin genişliği  $N$ , eşit oranda düzenlenmiş;
- Her bir ağırlık vektörünün komşu sayısı,  $T$ ;
- $\delta$  : Ebeveyn çözümlerin komşuluktan seçilme olasılığı;
- $n_r$  : Bir yavru çözümü ile yer değiştiren ebeveyn çözümlerin maksimum miktarı;
- CR: DE çaprazlama oranı;
- F: DE mutasyonunda F faktörü;
- $\lambda$ : Ağırlık vektörü;

Çıktı: Dış Popülasyon (EP)

İlk olarak, bir başlangıç evresi meydana gelir. Bu evrede, dış popülasyon dizisi sıfırdır. Kromozom sayısı kadar eşit dağıtılmış ağırlıklar matrisi oluşturulur. Daha sonra, her bir ağırlık vektörüne en yakın olan ağırlık vektörü  $T$ 'yi bulmak için ağırlık vektörleri arasındaki Öklid bağıntısı hesaplanır ve komşu  $B(i) = \{i_1, \dots, i_t\}$ ,  $\lambda^i$  en yakın ağırlık vektörü  $T$  için düzenlenir. Daha sonra çözümlerden oluşan bir başlangıç popülasyonu rastgele düzenlenir ve amaç fonksiyonları bu çözüm kromozomları için değerlendirilir.  $z = (z_1, \dots, z_m)^T$ 'nin her bir amaç fonksiyonu için minimum ve maksimum değerleri daha öncesinde değerlendirilmiştir.

İkinci olarak, algoritma bir  $N$  düğümünün değişime karşılık vermesiyle başlar. Öncelikle komşuluk seti  $\delta$  değeri göz önünde bulundurularak oluşturulur. Daha sonra,  $B(i)$  'den rastlantısal olarak seçilen iki dizin ( $x^{r1}$  ve  $x^{r2}$ ) genetik operatörlerin yardımıyla yeni bir çözüm üretmek amacıyla kullanılır. Burada DE mutasyonu temel arama mekanizması olarak kullanılır. Daha sonra çözüm üzerinde iyileştirmeler uygulanır. Eğer çözüm sınırı aşarsa tekrar üretim gerçekleştirilir. Elde edilen yeni çözüm  $z$  değerlerini güncelleyebilmek için amaç fonksiyonlarını hesaplamada kullanılır. Daha sonrasında,  $n_r$  faktörü göz önünde bulundurularak eğer,  $g^{te}(y' | \lambda^j, z) \leq$

$g^{te}(x^j | \lambda^j, z)$  sonucu olumlu ise yeni çözüm( $y'$ ) oluşturulur ve değerler güncellenir. Eğer çözümlerle yer değiştiren ebeveyn çözümlerin sayısı  $n_r$ 'ı aşarsa,  $n_r$  sayıda çözüm derecelendirilir ve çözüme en yakın Öklid bağıntısı olan ebeveynler güncellenir.

Son evrede, eğer durdurucu adım gerçekleşirse (maksimum nesil sayısı) algoritma durur ve EP oluşur. Aksi takdirde, güncelleme döngüsü devam eder. Başlangıç süresince  $B(i)$ ,  $\lambda^i$ 'nin en yakın  $T$  vektörü tarafından tayin edilir. En yakın ağırlık vektörleri Öklid mesafesi formülünden bulunur. Sonuç olarak,  $i$  dizgisi  $B(i)$ 'nin ilk dizgisidir.  $T-1$  vektörleri  $i$ 'inci vektörünün Öklid mesafesi tarafından tayin edilir ve eğer bir  $j$  dizgisi  $B(i)$ 'ye üye ise  $j$ ,  $i$ 'nin komşusu olarak adlandırılabilir.

Daha önce bahsedildiği üzere, bir başlangıç popülasyonu rastlantısal olarak oluşturulur ve sonra optimizasyon fonksiyonlarının güncellemesi gerçekleştirilir. Bu veriyle birlikte güncelleme akışı başlar.  $B(i)$ 'in komşuları  $x^{r1}$  ve  $x^{r2}$  yeni bir çözüm oluşturmak için değerlendirilir ve eğer çözüm ebeveynlerden daha iyi ise bu veri  $n_r$  sayıda komşulara kopya edilerek uygulanır. Farklı dizgiler farklı komşulara sahiptir, bu nedenle veri paralel (hızlı) ve efektif bir yol kullanarak değişkenlik gösterir. Bunun yanı sıra uyumluluk değerleri  $z^*$  noktalarının güncellemesinde de kullanılmaktadır. Durdurucu kriter ile karşılaşıldığında algoritma durur ve Pareto Set ve Pareto Front olarak sonuçlanır<sup>229</sup>.

MOEA/D-DE yönteminin temel yapısına ait çalışma düzeni aşağıdaki verilmiştir<sup>230</sup>.

*Prosedür;*

Adım1: Başlatma

Adım 1.1: Ağırlık vektörleri arasındaki Öklid uzaklığına göre her bir ağırlık vektörü için en yakın  $T$  vektörü hesapla.

$i = 1, \dots, N$  için,  $B(i) = \{i_1, \dots, i_t\}$  komşuluk uzayı oluştur.  $\lambda^{i^1}, \dots, \lambda^{i^t}$  vektörleri,  $\lambda^i$  vektörüne en yakın  $T$  vektörleridir.

Adım 1.2: Rastgele bir başlangıç popülasyonu oluştur ( $x_1, \dots, x_N$ ).

Adım 1.3:  $z_j = \min_{1 \leq i \leq N} f_j(x_i)$ ,  $z = (z_1 \dots z_m)$  başlat.

Adım 2: Güncelleme

$i = 1, \dots, N$ , için

<sup>229</sup> Zhang ve Li (2007).

<sup>230</sup> Liu vd. (2010).

### Adım 2.1: Eşleme havuzunun seçimi

[0,1] arasında düzgün dağılımlı rassal sayı üretilir. Üretilen sayı  $\delta$  değerinden küçükse  $x_i$  kromozomunun komşuluğu değilse tüm popülasyon eşleşme havuzu için popülasyon oluşturur.

$$P = \begin{cases} B(i) & \text{eğer } rand < \delta \\ \{1, \dots, N\} & \text{diğer} \end{cases}$$

### Adım 2.2: Çoğalma

$r_0 = i$  eşitliğini sağlayın ve P'den rastgele iki  $r_1$  ve  $r_2$  vektörlerini seç. Daha sonra yeni bir DE/ $r_i$ /1/bin notasyonundan yeni bir yavru  $y_i$  çözümü oluşturun.

Mutasyondan mutant vektör bul.

$$v' = x^i + (F + rand(0,1) * (1 - F)) * (x^{r1} - x^{r2})$$

Çaprazlamayla yavru elde et.

$$y_i = \begin{cases} v_{i,k}, & rand_k(0,1) \leq C_r \quad \forall k = k_{rand} \\ x_{i,k}, & rand_k(0,1) > C_r \quad \wedge k \neq k_{rand} \end{cases}$$

### Adım 2.3: Onarım

Eğer bir  $y$  elemanı (yavru kromozom),  $\Omega$  sınırının dışındaysa, onun değeri, sınırlar içinde rastlantısal olarak belirlenmiş bir değerle resetlenir.

### Adım 2.4: Referans noktası güncelleme

$j = 1, \dots, m$  için, eğer  $z_j > f_j(y)$  ise,  $z_j = f_j(y)$  'dir.

### Adım 2.5: Çözümlerin yerlerini değiştirme

(1) P'de yer alan her bir  $j$  için,  $g(y | \lambda^j, z)$  ve  $g(z^j | \lambda^j, z)$  hesapla

(2)  $c=0$  seç, eğer  $g(y | \lambda^j, z) \leq g(z^j | \lambda^j, z)$  ise  $c=c+1$

(3.1) Eğer  $c \leq n_r$  ise, her bir  $j$  için  $g(y | \lambda^j, z) \geq g(z^j | \lambda^j, z)$  ile birlikte,  $x^j = y$ 'dir.

(3.2) Eğer  $c > n_r$  ise, her bir  $j$  için  $g(y | \lambda^j, z) \geq g(z^j | \lambda^j, z)$  ile birlikte,  $f(y)$  ve  $f(x^j)$  arasındaki Öklid bağıntısını hesaplayın ve onları sıralayın. En küçük aralıklarda  $n_r$  çözümlerini seçin.  $x^j = y$  eşitliğini sağlayın.

Adım 3: Durma kriteri:

Eğer durma kriteri doygunsa, algoritma durdur ve çıktı olarak  $\{x^1, \dots, x^N\}$  ve  $\{f(x^1), \dots, f(x^N)\}$  oluşur. Aksi takdirde Adım 2'ye dön.

#### 4.2.5.2.3. Yer değişim mekanizması

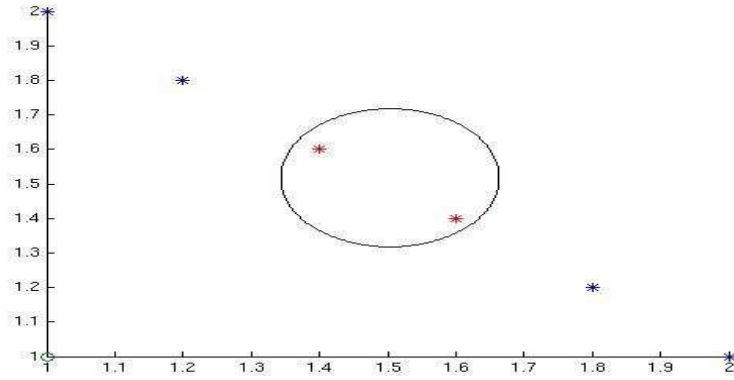
MOEAD/DE'da bulunan değişim mekanizmasının amacı popülasyonun kalitesini (baskınlık bakımından) arttırmak ve türlerin devamlılığını sağlamaktır. Ayrıştırma-tabanlı yöntemlerle farklı vektör ağırlıkları baz alınarak yapılan çeşitli yönlendirmeler türlerin oluşmasına “doğal yoldan” katkı sağlasa da, türlerin devamlılığı yer değiştirme mekanizmasının işleyişi tarafından da etkilenmektedir. Yüksek kalitede bir yavru çözümü ona komşu olan kesin çözümlerin  $n_r$  sayıda olanları ile yer değişimi gerçekleştirebilmektedir. Dolayısıyla, türlerin çeşitliliği önemli ölçüde  $n_r$ 'dan etkilenmektedir.  $n_r$ , MOEA/D-DE'e sınırlar ekleyerek yer değişim mekanizmasını güçlendirmektedir ve T'ye nazaran oldukça küçüktür. Yüksek kaliteli bir yavru çözümü en fazla,  $n_r$  kadar sayıda kesin çözümle yer değiştirerek türlerin devamlılığına katkıda bulunabilir<sup>231</sup>.

Ancak  $n_r$ 'ın değerini belirleme görüldüğü gibi önemsiz bir problem değildir.  $n_r$ , bilgi dağılımı dengesinin ve türlerin devamlılığının kontrolünü gerçekleştirmektedir. Eğer  $n_r$ , genişse, iyi bir çözümün sahip olduğu kodların daha çok sayıda kesin çözüm tarafından paylaşılması olasıdır, ancak türlerin azalması riski daha yüksektir. Bunun tam aksine eğer  $n_r$  küçük ise, kodlar daha az çözüm tarafından paylaşılır ve türlerin devamlılığı sağlanır.  $n_r$ 'ın değeri deneme yanılma yöntemiyle belirlenir fakat genel bir kural olarak  $0.10 * T$  alınabilir<sup>232</sup>.

Şekil 11'deki (1,1) koordinasyonlarına sahip olan kesişim noktası yüksek kaliteli yavru çözümdür ve “\*” sembolüne sahip olan tüm 6 noktanın hepsiyle yer değiştirebilir. Eğer şemada gösterildiği üzere sadece bir puan seçilmişse çember içinde ki 2 nokta diğer 4 noktadan daha faydalıdır.

<sup>231</sup> Liu vd (2010).

<sup>232</sup> Liu vd (2010).



Şekil 11. Yer Değişim Mekanizmasının Gösterimi

**Kaynak:** Pak, 2011:85.

Amaç, bilgi paylaşımı ve türlerin devamlılığı arasındaki dengeyi sağlamaktır. Bahsedilen yöntemde, yüksek kaliteli yavru çözümleri ile yer değiştirebilen ebeveyn çözümleri maksimum sayıyı aştıklarında, ebeveyn çözümleri sıralandırılır ve yavru çözümlerine en yakın olan ilki yer değiştirir. Bu yöntem baskınlığın ve Pareto kümesinin dağılım kalitesini arttırmaktadır<sup>233</sup>.

Bahsedilen yöntemde, tüm komşuların yerlerini değiştirmenin aksine, yer değiştirme işlemi ancak bazı koşullar altında gözlemlenebilir. Yer değiştirme mekanizması popülasyonda yer alan her bir  $j$  için öncelikle;

$g(y | \lambda^j, z)$  ve  $g(x^j | \lambda^j, z)$  hesaplanır.

İkinci olarak,  $c=0$  seçilir.  $g(y | \lambda^j, z) \leq g(x^j | \lambda^j, z)$  durumunda, yer değiştiren çözümlerin miktarını kontrol altında tutabilmek için,  $c$  parametresi bir ( $c=c+1$ ) tarafından artırılır. Üçüncü olarak,  $c$  ve  $n_r$  arasındaki kıyaslama yapılır. Eğer  $c \leq n_r$  her bir  $g(y | \lambda^j, z) \leq g(x^j | \lambda^j, z)$  ile birlikte  $j$  için doğru ise, tüm geliştirilmiş çözümler (yavru) eski olanlarla ( $x_j=y$ ) yer değiştirir. Eğer  $c > n_r$ ,  $g(y | \lambda^j, z) \leq g(x^j | \lambda^j, z)$  ile birlikte her bir  $j$  için doğruysa,  $f(y)$  ve  $f(x^j)$  arasındaki Öklid bağıntısı hesaplanır ve derecelendirilir. Derecelendirmeden sonra, en küçük aralıklara sahip olan  $n_r$  çözümleri yer değişimi için seçilir.  $x^j = y$  eşitliğini sağlar.

<sup>233</sup> Liu vd (2010).

#### 4.2.5.2.4. DE arama motoru

MOEA/D-DE algoritması daha önceden bahsedilen DE/ri/1/bin notasyonunu kullanmaktadır<sup>234</sup>. Öncelikle mutasyon vektörü üretilir, daha son çaprazlama işlemi sonucunda yavru kromozom (y) oluşur. DE'deki etkili mutasyon operatörü aşağıdaki denklem 4.30'da ifade edilen biçimde kullanılmıştır.

$$v' = (x^i(t) + (F + rand(0,1) * (1 - F))(x^{r_1}(t) - x^{r_2}(t))) \quad 4.30$$

$r_1$  ve  $r_2$  ( $r_1, r_2 \in P$ ) kromozomlarının rastlantısal olarak seçildiği, karşılıklı ve kesin kromozom  $i$ 'den farklı olduğu durumdur. DE/best/1/bin notasyonunda kullanılan "best" yani popülasyondaki en iyi uyum değerine sahip kromozom yerine,  $[x^i(t)]$   $i$ 'inci ebeveyn kromozom kullanılır. Bu durum seçim baskısı ile popülasyon çeşitliliği arasında bir denge yaratmıştır. Eğer DE/rand/1/bin notasyonunda olduğu gibi  $x^i(t)$  rassal belirlenseydi aramanın etkinliği azalacaktı. Komşuluk tabanlı bir yöntem kullanıldığından  $x^i(t)$ 'nin  $i$ 'inci ebeveyn kromozom olmasında bir sakınca olmamaktadır. Parametre sayısının büyük olduğu problemlerde bir sorun yaratabilirdi fakat bizim çalışmamızda parametre sayısı 4 olduğundan algoritmanın yakınsaması rand'a göre daha hızlı olacaktır.

$F \in (0,1]$  sabit ölçek faktörü olarak adlandırılır ve  $x^{r_1}(t) - x^{r_2}(t)$  'in diferansiyel varyasyonlarında meydana gelen büyümeyi kontrol eder.  $F_d = F + rand(0,1) \cdot (1 - F)$  olmak üzere,  $F_d$  dinamik ölçek faktörlerinin kullanılmasıyla yüksek bir başarı gözlemlenebilir. Güncel bir çalışmada kullanılan 0.5 ile 1 arasında değişen ölçek faktörü yüksek başarı göstermiştir<sup>235</sup>.

#### 4.2.5.2.5. MOEA/D-DE'nin özellikleri

MOEA/D-DE'nin hedefi çok amaçlı optimizasyon problemini alt problemler olan  $N$  skaler problemlere ayrıştırmak ve aynı zamanda bu alt problemleri ( skaler yığılma fonksiyonu) çözümlenektir. Çözüm, popülasyondaki kromozomların evrimleşmesiyle birlikte daha sağlam bir temele kavuşur. Her bir jenerasyon (matematiksel programlama bakımından tekrarlama-iterasyon sayısı) ve her bir alt problem için, popülasyon o ana kadar oluşan en iyi çözüm etrafında odaklanır. Bu alt problemler

<sup>234</sup> K. Price vd. (2005). Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization, Springer, 20-182'den aktaran Liu vd. (2010).

<sup>235</sup> H. Pohlheim (2006). Introduction evolutionary algorithms: overview, methods and operators. Genetic Algorithms Toolbox for Matlab.

içinde yer alan komşuluk ilişkileri Öklid bağıntısıyla hesaplanan yığılma katsayısı vektörleri arasındaki mesafeye dayalı olarak tanımlanmaktadır. İki komşu alt problemin optimal çözümlerinin de birbirine bir hayli benzer olması lazımdır.

MOEA/D’de yer alan her bir kromozom, komşusu olan bir diğer kromozomun verilerinden faydalanılarak optimize edilmektedir. MOEA/D’ye ait diğer özellikler aşağıda belirtilmiştir<sup>236</sup>:

- Bu algoritma yardımıyla ayrıştırma bazlı yöntemler matematiksel programlamadan evrimsel algoritmalara doğru büyüme göstermiştir.
- MOEA bazlı yöntemler çok amaçlı problemi (MOP) doğrudan çözmeye çalışırlar bu nedenle, uyumluluk tayini, türlerin devamı gibi problemlerin çözümü daha da zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, ayrıştırma işlemini MOEA içerisinde tanımlamak, N skaler optimizasyon probleminin iyileştirmesini sağlar ve bu durum MOEA/D’nin yapısında bulunan dinamiklere ulaşmayı kolaylaştırır.
- NSGA-II gibi popüler yöntemlere nazaran MOEA/D’nin hesaplama karmaşası daha düşük seviyededir. 2 amaçlı MOP örneklerinde, Tchebycheff ayrıştırma yöntemiyle birlikte uygulanan MOEA/D ve NSGA-II yöntemleri benzer performanslar göstermiştir. 3 amaçlı durumlarda MOEA/D, NSGA-II’den çok daha iyidir. Küçük çaplı popülasyon kullanılan MOEA/D’de eşit olarak dağılmış az miktarda çözüme ulaşmak mümkündür.
- Geniş bir seriye sahip olan amaç fonksiyon değerlerinde MOEA/D üzerinde normalizasyon gözlemlenmektedir<sup>237</sup>.

### 4.3. Monte-Carlo Simülasyonu

Simülasyon, gerçek bir sistemi temsil edebilecek bir modelin bilgisayarda kodlanarak oluşturulması ve bu model ile sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi süreci olarak tanımlanabilir. Simülasyon yönteminin problemlere yaklaşımı sistemin yapısına ve bu yapıya bağımlı olarak kurulacak modele göre değişiklik göstermektedir.

Davranışı daha önceden bütünüyle kestirilemeyen modeller stokastik modellerdir. Yani, bazı olayların hangi olasılıklarla meydana geleceği hakkında çeşitli söylemler

---

<sup>236</sup> Pak (2011), s. 44

<sup>237</sup> Zhang ve Li (2007).

oluşturulabilir<sup>238</sup>. Bu tip modellerde girdi değerleri ve süreç, olasılık dağılımları ile temsil edilebilmektedirler. Bu açıdan simülasyon yöntemi stokastik modellerin analizi ve çözümünde en çok başvurulan temel yöntemlerden biri olmuştur<sup>239</sup>. Bu çalışmada sadece Monte Carlo yöntemi üzerinde durulacaktır.

Bir sistemi meydana getiren elemanların o sistemin davranışına bağlı olduğu durumlarda Monte Carlo simülasyon yöntemi uygulanır. Şans faktörü Monte Carlo simülasyonunun en önemli yanıdır ve bu yaklaşım sadece süreç rasgele bir bileşene sahipse uygulanabilir<sup>240</sup>. Rasgele bir bileşenin varlığı söz konusuysa, belirsizlikleri göz önünde bulundurmamak ve olasılığa dayanan tahminler yapmak daha uygun olacaktır. Monte Carlo Simülasyonu, duyarlılık analizi ve girdi değişkenlerin olasılık dağılımı ile birlikte şans oyunlarının matematiğine dayandırılarak geliştirilmiştir<sup>241</sup>.

Monte Carlo yöntemi, düzgün dağılımdan rastsal değişkenler elde etmek ve bunları uygun bir şekilde ilgilenilen dağılıma taşımaktır<sup>242</sup>. Bir düzgün dağılım, değişken değerlerinin özel bir alanla sınırlandırılmış olması ve eşit şanslara sahip olması durumunda veya aynı olasılıklara sahip olması durumunda mevcuttur. Çoğunlukla bu düzgün rastsal değişkenlerden “rastsal sayılar” olarak bahsedilir. Bu sayılar iki önemli şartı sağlamaktadırlar; Bütün rastsal sayı değerlerinin meydana gelmesi eşit şansa sahiptir ve ikincisi; bütün yeni değerler bütün önceki elde edilen değerlerden bağımsızdır.

Düzgün rastsal sayılar ile olasılık dağılımlarından rastsal değişkenler şu şekilde elde edilir: Önce her bir değişken için belirlenen olasılıklardan dağılımın kümülatif olasılık fonksiyonu elde edilir. Her bir değişken için rastsal sayı üretilir. Üretilen rastsal sayı hangi kümülatif olasılık aralığına giriyorsa bu aralığın karşısındaki değişken değeri alınır. Bu değer istenilen rastsal değişkenin değeridir.

X rastsal bir değişken olmak üzere önce

---

<sup>238</sup> M. Pidd (1990). *Computer simulation in management science*, 22 s. John Wiley & Sons Ltd.,Chichester.’den aktaran L. Öztürk (2004). Monte-Carlo simülasyon metodu ve bir işletme uygulaması. *Doğuanadolu Bölgesi Araştırmaları*. Malatya: İnönü üniversitesi, s. 117.

<sup>239</sup> M. Sevütekin (1992). Ekonometrik simülasyon modelleri, *Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:XIII, Sayı:1-2, Bursa, 235,

<sup>240</sup> W.J. Stevenson (2002). *Operations management*. (7<sup>th</sup> Edition). New York, McGraw-Hill, s.856.’den aktaran B. Kavcar (2004). *Simülasyon yöntemi kullanılarak yapılan satış tahminleriyle satış bütçesi hazırlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, s, 63.

<sup>241</sup> E. F. Brigham (1999). *Finansal yönetimin temelleri*. (Çev: Ö. Akmut ve H. Sariaslan). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları, s. 423.

<sup>242</sup> Öztürk (2004), s. 119.

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (4.31)$$

kümülatif yoğunluk fonksiyonu elde edilir. Sonra 0 ile 100 arasında değişen düzgün bir rastsal sayı üretilir.

Sonuncu adım,

$$P(X \leq x)' i \quad (4.32)$$

rastsal sayıya eşitleyip  $x$ 'e göre çözmektir.

Bu yöntem aşağıdaki beş temel aşamadan meydana gelmektedir;

- Sistemin her bir elemanı için bir olasılık dağılımı belirlenir. Olasılık dağılımının belirlenmesi için varsa geçmiş veriler kullanılır ancak geçmiş verilerin olmadığı durumlarda da modelin kurucusu ya da yöneticiler tarafından bu olasılıklar yargısal olarak oluşturulabilir.
- Elde edilen olasılık dağılımları birikimli olasılık dağılımlarına dönüştürülür.
- Modelin incelenmesi için kullanılacak olan rasgele sayılar üretilir.
- Rasgele sayılar kullanılarak, değişkenlerin alacağı değerler belirlenir.
- Simülasyon işlemi tamamlanarak, gerçek olay simüle edilir. Sonuçlar değerlendirilir.

YİD projeleri büyük ölçekli ve yüksek maliyetli yatırımlardır. Geleceğe yönelik belirsizliklerin ve risk faktörünün yüksek olduğu durumlarda, belirlilik varsayımı altında değerlendirmeler yapmak, yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olur. Belirlilik varsayımının geçerli olmadığı durumlarda, YİD projelerine ait parametrelerin tek bir değer olarak değil, bir değer kümesi olarak tahmin edilmesi gerekir. Örneğin, bir YİD proje önerisinin yapım maliyetlerinin tek bir değer yerine bir değer kümesi şeklinde belirlenmesi doğal olarak analiz sürecinin etkinliğini ve ulaşılan sonuçların tutarlılığını olumlu yönde etkileyecektir. Çünkü belirsizlik ve risk nedeniyle nakit akışlarındaki olası sapmaların, daha değerlendirme sürecinde iken öngörülmesi, daha doğru kararlar almayı sağlar. Simülasyon yöntemi projenin net bugünkü değerinin ya da iç getiri oranının dağılımını verir. Simülasyon yönteminde ilk adım projeye ilgili değişkenlerin belirlenmesidir<sup>243</sup>. Bu değişkenler projenin nakit girişini etkileyen pazarın büyüklüğü, ürünün satış fiyatı, pazarın büyüme hızı, yatırım tutarı vb. değişkenlerdir. Değişkenler belirlendikten sonra bu değişkenlerin her biri için olasılık dağılımı tahmin

<sup>243</sup> Sarıaslan (2003), s. 266.

edilir ve değişkenler arasındaki ilişki tespit edilir<sup>244</sup>. Değişkenlerin değer aralığı ve olasılığı dikkate alınarak, farklı değerler için iterasyonlar defalarca tekrarlanır ve NPV'ler hesaplanır. Hesaplanan çok sayıda NPV kullanılarak NPV'nin beklenen değeri ve standart sapması hesaplanır. Projenin riski ve getirisi gözlemlenir. Bir çok değişkenin yatırımın ya da projenin beklenen değerini nasıl etkilediği, bu etkilerin sonucunda projenin beklenen değerinin ne olabileceği daha gerçekçi olarak hesap edilebilir<sup>245</sup>.

Bir projenin net bugünkü değerinin tahmin edilmesi, pek çok faktöre bağlıdır. Net bugünkü değeri belirleyen ekonomik kökleri açıkça tanımladıktan sonra, çözümlene çok daha karmaşık bir hale gelir; çünkü geçerli olan her bir ekonomik etkene bir olasılık dağılımı verilmelidir ki bu da karmaşık öngörme tekniklerini gerektirir. Kuşkusuz, ele alınan ekonomik etkenler sayıca ne kadar çok olursa, NPV olasılık dağılımının elde edilmesi de o kadar güçleşir. Ancak, projenin NPV'sini belirleyen temel etkenlerin bu tür bir çözümlenmesinin projenin başarı ya da başarısızlık olasılıkları üzerine geliştirdiğimiz öngörülerini geliştirmek için gerekli olduğunu da vurgulamak gerekir.

Bu çalışma kapsamında, bir YİD projesinin nakit akışlarını etkileyen en önemli belirsizlikler; yatırım maliyeti, taban talep miktarları, faiz oranı ve iskonto oranı olarak belirlenmiştir.

---

<sup>244</sup> Sarıaslan (2003), s. 266.

<sup>245</sup> C. F. Lee (1985). *Financial analysis and planning: theory and planning*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co., s.361.

## 5. Bir YİD Yatırım Projesinin İhale Kazanma Potansiyelinin Büyütülmesi

Bu bölümde deterministik yatırım ortamı içinde bir YİD projesinin ihale kazanma potansiyelinin büyütülmesinde imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini belirlemek için tek amaçlı optimizasyon modeli geliştirilmektedir. Başlangıç olarak reel dünyadan bir YİD projesinin giriş parametrelerinin değerleri sağlanmıştır ve bu sayısal veriler Excel ortamına girilerek nakit akışları hesaplanmıştır ve imtiyazlı öğeler için duyarlılık analizleri yapılmıştır. YİD ihalesinin kazanma potansiyelini ölçmek için muhtemel sponsorların problemlerini içeren finansal model sunulmuştur. Daha sonra, kredi verenlerin, ilgili hükümet kuruluşunun ve sponsorların çelişen finansal çıkarlarını içeren proje şirketinin ihaleyi kazanma potansiyelinin maksimizasyonu için tek amaçlı optimizasyon problemi kurulmuştur. YİD projesinin önerilen optimizasyon probleminin çözümü için çözüm yöntemi sunulmuştur: Deterministik bir çerçeve içinde önerilen optimizasyon sorununu çözmek için Evrimsel Algoritma uygulaması (DE) detaylandırılmıştır. Belirsiz yatırım ortamındaki YİD projesinin Monte Carlo simülasyon yöntemiyle yapılabirlik analizi sunulmuştur. Son olarak senaryo analizi yapılarak yöneticilerin karar verme seçenekleri genişletilmiştir.

### 5.1. Model Girdileri ve Sayısal Örnekler

Sponsorların bakış açılarından finansal sonuçları değerlendirmek için, bir havaalanı YİD projesi verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerle, çalışmanın dördüncü bölümünde ifade edilen (4.1)-(4.20) denklemleri kullanılarak MS-Excel ortamında finansal modeller geliştirilmiştir.

Geliştirilen finansal modeller ile ilgili hesaplama adımları aşağıdaki gibidir:

*Adım 1:* Tablo 6 ve 7’de tasvir edilmiş giriş yatırım parametrelerinin sağlanması.

*Adım 2:* Dördüncü bölümdeki (4.1) – (4.20) denklemlerini kullanarak hesaplamalar yapılması.

*Adım 3:* Sponsorların nakit akışlarını denklem (4.14) ve (4.15), ADT [denklem (4.7)’de görülen],  $IRR^S$  [denklem (4.18) de görülen] ve  $DSCR_{avg}$  [denklem (4.19)’da görülen] içeren finansal performans ölçümlerinin hesaplanması.

Aşağıdaki kısımlarda reel dünyadaki bir YİD projesi için geliştirilmiş finansal model uygulaması mevcuttur.

### 5.1.1. Model girdileri

Aşağıdaki Tablo 6 ve 7'deki veriler, Türkiye'deki bir havaalanı projesine aittir. Tablo 6'daki model girdileri, yatırım parametrelerinin değerlerini göstermektedir.

Tablo 6. Yatırım Elemanları

Yatırım Parametreleri	Deterministik Değer
Max sponsor çalışma süresi	49 yıl
Yapım dönemi (CP)	2 yıl
Kredi geri ödeme dönemi (LRP)	15 yıl
Kredi faiz oranı ( $r_b$ )	%7
Enflasyon oranı ( $r_h$ )	%4
Vergi oranı ( $r_t$ )	%11
İndirgeme oranı (R)	%10
Taban maliyet (BC)	438.276.878 €
Yurtiçi Yolcu Sayısı (SOP 1. yıl, 1. 6 ay)	1.592.360 kişi
Yurtiçi Yolcu Sayısı (SOP 1. yıl, 2. 6 ay)	1.452.585 kişi
Yurtdışı Yolcu Sayısı (SOP 1. yıl, 1. 6 ay)	430.655 kişi
Yurtdışı Yolcu Sayısı (SOP 1. yıl, 2. 6 ay)	367.477 kişi

Aşağıdaki Tablo 7'de YİD havaalanı projesi için finansal model girdileri ve parametreleri gösterilmiştir. Tablodaki değerler 49 yıl sponsor operasyon süresi için raporlanmıştır.

Tablo 7. Finansal Parametreler

Operasyon Dönemi	Yolcu Sayısı Değişimleri		Yıllık Diğer Gelirler (€)	Yıllık Operasyonel Giderler (€)	Yıllık Diğer Finansman Giderleri (€)
	Taban yolcu sayısındaki 6'şar aylık yüzdelik değişim oranları				
	Yurtiçi	Yurtdışı			
1. yıl	10.5%	14.5%	25.173.336	(19.279.199)	(92.643)
	7.4%	9.3%			
2. yıl	10.4%	12.8%	28.630.650	(19.905.421)	(95.417)
	7.4%	8.7%			
3. yıl	9.3%	7.3%	38.774.283	(20.551.411)	(100.010)
	6.9%	6.1%			
4. yıl	7.2%	14.3%	41.896.372	(21.093.243)	(111.596)
	6.0%	9.6%			
5. yıl	-0.8%	9.2%	46.977.177	(21.628.035)	(130.289)
	2.3%	7.2%			
6. yıl	14.4%	8.1%	49.734.381	(22.028.574)	(161.940)
	9.2%	6.7%			

Operasyon Dönemi	Yolcu Sayısı Değişimleri		Yıllık Diğer Gelirler (€)	Yıllık Operasyonel Giderler (€)	Yıllık Diğer Finansman Giderleri (€)
	Taban yolcu sayısındaki 6'şar aylık yüzdelerlik değişim oranları				
	Yurtiçi	Yurtdışı			
7. yıl	5.3%	7.1%	54.594.462	(22.667.286)	(197.819)
	5.2%	6.1%			
8. yıl	5.2%	2.6%	58.392.626	(23.209.747)	(259.857)
	5.1%	3.7%			
9. yıl	5.2%	11.2%	60.663.448	(23.762.783)	(337.776)
	5.1%	6.9%			
10. yıl	0.0%	6.9%	66.575.234	(24.400.297)	(422.653)
	0.0%	3.9%			
11. yıl	10.6%	6.7%	70.312.076	(24.901.080)	(505.550)
	5.0%	3.9%			
12. yıl	5.1%	6.6%	76.010.542	(25.642.740)	(589.943)
	2.5%	3.9%			
13. yıl	5.1%	5.9%	80.845.998	(26.294.620)	(693.193)
	2.6%	3.6%			
14. yıl	4.9%	5.8%	85.565.982	(26.967.059)	(92.090)
	2.6%	3.6%			
15. yıl	5.0%	5.8%	90.954.439	(27.684.058)	(91.975)
	2.7%	3.7%			
16. yıl	4.6%	5.5%	96.726.908	(28.403.033)	(91.975)
	2.5%	3.6%			
17. yıl	4.5%	5.4%	102.063.199	(29.135.975)	(91.975)
	2.5%	3.6%			
18. yıl	4.5%	5.4%	107.779.960	(29.889.922)	(6.210.013)
	2.6%	3.6%			
19. yıl	4.5%	5.4%	114.281.342	(30.708.441)	(41.975)
	2.6%	3.7%			
20. yıl	4.4%	5.3%	121.638.914	(31.715.083)	(41.975)
	2.6%	3.6%			
21. yıl	4.4%	5.3%	128.733.306	(32.731.830)	(41.975)
	2.6%	3.7%			
22. yıl	4.4%	5.2%	136.891.676	(33.791.032)	(42.090)
	2.7%	3.8%			
23. yıl	4.3%	5.1%	144.967.056	(34.897.301)	(41.975)
	2.6%	3.7%			
24. yıl	4.3%	5.1%	153.353.197	(36.044.066)	(41.975)
	2.7%	3.7%			
25. yıl	4.3%	5.1%	162.640.595	(36.428.562)	(41.975)
	2.7%	3.8%			
26. yıl	0%	0.0%	172.904.618	(37.263.727)	(42.090)
	0%	0.0%			
27. yıl	0%	0.0%	175.321.891	(37.333.652)	(41.975)
	0%	0.0%			
28. yıl	0%	0.0%	177.782.491	(38.508.848)	(41.975)
	0%	0.0%			
29. yıl	0%	0.0%	180.287.114	(38.261.368)	(41.975)
	0%	0.0%			
30. yıl	0%	0.0%	182.836.535	(39.212.277)	(42.090)
	0%	0.0%			
31. yıl	0%	0.0%	185.431.789	(40.186.959)	(41.975)
	0%	0.0%			

Operasyon Dönemi	Yolcu Sayısı Değişimleri		Yıllık Diğer Gelirler (€)	Yıllık Operasyonel Giderler (€)	Yıllık Diğer Finansman Giderleri (€)
	Taban yolcu sayısındaki 6'şar aylık yüzdelik değişim oranları				
	Yurtiçi	Yurtdışı			
32. yıl	0%	0.0%	190.666.756	(41.186.008)	(41.975)
	0%	0.0%			
33. yıl	0%	0.0%	196.901.849	(42.210.033)	(41.975)
	0%	0.0%			
34. yıl	0%	0.0%	203.350.137	(43.259.659)	(42.090)
	0%	0.0%			
35. yıl	0%	0.0%	210.018.699	(44.335.525)	(41.975)
	0%	0.0%			
36. yıl	0%	0.0%	216.914.901	(45.438.289)	(41.975)
	0%	0.0%			
37. yıl	0%	0.0%	224.046.133	(46.568.621)	(41.975)
	0%	0.0%			
38. yıl	0%	0.0%	231.420.695	(47.727.211)	(42.090)
	0%	0.0%			
39. yıl	0%	0.0%	239.046.428	(48.914.767)	(41.975)
	0%	0.0%			
40. yıl	0%	0.0%	246.931.739	(50.132.011)	(41.975)
	0%	0.0%			
41. yıl	0%	0.0%	255.084.993	(51.379.686)	(41.975)
	0%	0.0%			
42. yıl	0%	0.0%	263.515.376	(52.658.553)	(42.090)
	0%	0.0%			
43. yıl	0%	0.0%	272.231.777	(53.969.392)	(41.975)
	0%	0.0%			
44. yıl	0%	0.0%	281.243.803	(55.313.002)	(41.975)
	0%	0.0%			
45. yıl	0%	0.0%	289.909.495	(56.690.202)	(41.975)
	0%	0.0%			
46. yıl	0%	0.0%	298.884.817	(58.101.832)	(42.090)
	0%	0.0%			
47. yıl	0%	0.0%	308.180.057	(59.548.753)	(41.975)
	0%	0.0%			
48. yıl	0%	0.0%	317.805.824	(61.031.846)	(41.975)
	0%	0.0%			
49. yıl	0%	0.0%	327.773.063	(62.552.018)	(41.975)
	0%	0.0%			

### 5.1.2. Verilerin değerlendirilmesi

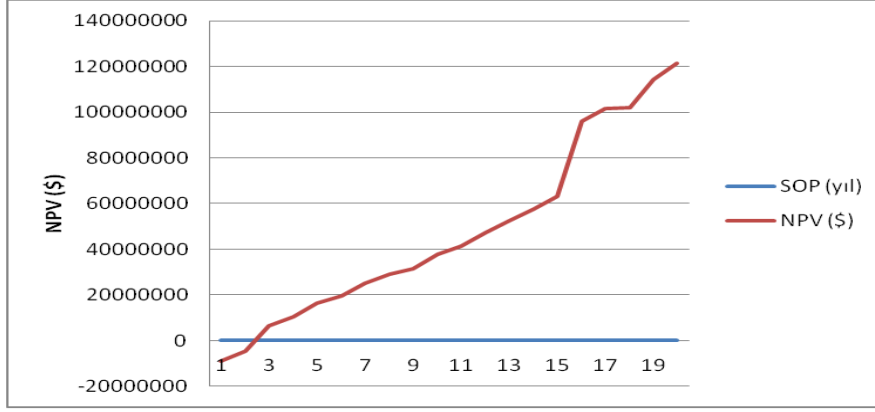
Bu bölümün başında belirtilen finansal modelin elde edilmesi için sponsorların nakit akışları ve finansal performans ölçümleri hesaplamaları aşağıdaki Tablo 8'de gösterilmiştir. Sponsorların nakit akışı M.İslam'ın (2008)'deki araştırması ve diğer dördüncü bölümdeki denklemler için referans verilen araştırmacılar (Ranasinghe 1996; Wibowo ve Kochendorfer 2005; Zhang 2005; Lianyu ve Tiong 2005; İslam 2008) doğrultusunda hesaplanmıştır.

Karar değişkenlerimiz; özsermaye, yurtiçi birim ücret tarifesi ve yurtdışı birim ücret tarifesi düzeyleri taban değerlerinde alınmıştır. Sponsor çalışma dönemi karar değişkenimiz için ise örnek olarak 20 yıl alınmıştır.

*Tablo 8. Nakit Akışları ve Finansal Performans Ölçümleri*

Finansal Performans Ölçümleri	Yıl	Finansal Model Sponsorların Nakit Akışları (€)
	1	(8.941.492)
	2	(4.595.186)
	3	6.475.023
	4	10.308.884
	5	16.452.600
	6	19.448.537
	7	24.929.873
	8	29.036.154
	9	31.350.288
	10	37.726.702
	11	41.369.738
	12	47.364.210
	13	52.330.773
	14	57.786.784
	15	63.303.617
	16	96.030.601
	17	101.562.392
	18	102.005.029
	19	114.098.904
	20	121.377.401
Birikmiş Borç(ADT)		(411.631.046)
IRR %		%13.48
DSCR <sub>avg</sub>		1.98
Kârlılık İndeksi		1.60

Tablo 8'deki verilerin daha net anlaşılması için Şekil 12'de sponsorların nakit akışı profilinin görsel temsili sunulmuştur.



Şekil 12. Sponsorların Nakit Akışı Profili

Tablo 7'de ve Şekil 12'de gösterildiği gibi, nakit akışları 20 yıllık sponsor çalışma dönemi için elde edilmiştir. Elde edilen finansal performans ölçümleri incelendiğinde YİD projesinin 20 yıllık dönem için bile oldukça kârlı bir yatırım olduğu söylenilebilir. IRR değeri, indirgeme oranı %10'dan büyük çıkmıştır.  $DSCR_{avg}$  borç servisi karşılama oranı tercih edilebilir oran olan 1,5 değerinden yüksek çıkmıştır. Kârlılık endeksi değeri 1 değerinden büyük çıkmıştır. Tüm performans ölçümlerine göre proje kârlı bir yatırım olmaktadır. Bu çalışmada amacımız projenin karlılığını ölçmekten ziyade ihaleyi kazanmak için imtiyazlı öğelerin optimal değerlerine ulaşmaktır. Burada sadece optimizasyon modelinin işletileceği zemin oluşturulmuştur ve proje ile ilgili ön bilgi elde edilmiştir.

### 5.1.3. Karar değişkenlerinin duyarlılık analizleri

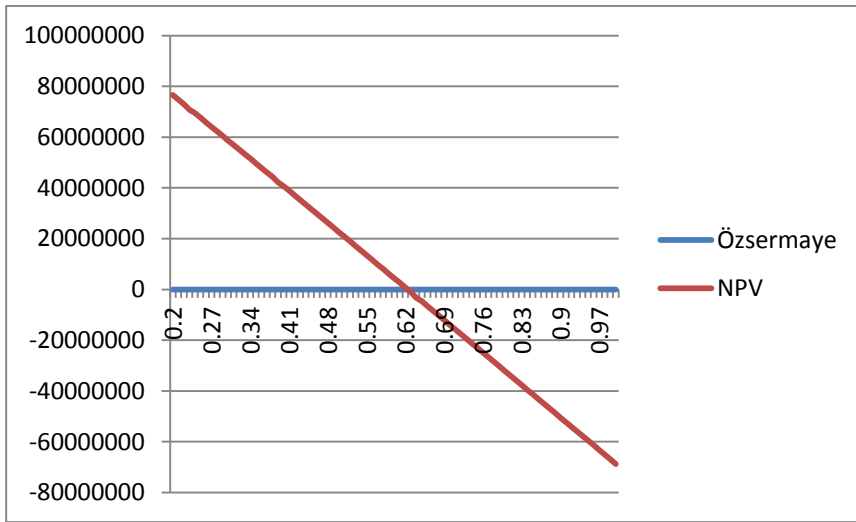
Proje değerlendirmede duyarlılık analizi, projenin net bugünkü değerini (NPV) oluşturan temel değişkenlerdeki değişikliğe bağlı olarak, NPV'nin ne ölçüde değiştiğini ölçmeye yarayan bir risk analiz tekniği olarak kabul edilebilir. Risk değerini bulmaktan çok, değişkenlerin NPV üzerindeki etkilerinin tahmini için kullanılır. Eğer NPV bu değişimlere duyarlılık gösteriyorsa, projenin riskli olduğu şüphesizdir.

Duyarlılık analizinde her değişken belli oranlarda değiştirildiğinde diğer değişkenler sabit kalmak koşulu ile yeni NPV'ler hesaplanmaktadır. NPV'de ortaya çıkan değişim hangisinde daha fazla ise ya da grafikte gösterildiğinde NPV eğrisi hangisinde daha dik ise, proje kârlılığı o değişkene daha çok duyarlıdır. Karar

değişkenlerindeki küçük bir değişme ya da tahmin hatası, projenin kârlılığında büyük değişmelere yol açacaktır.

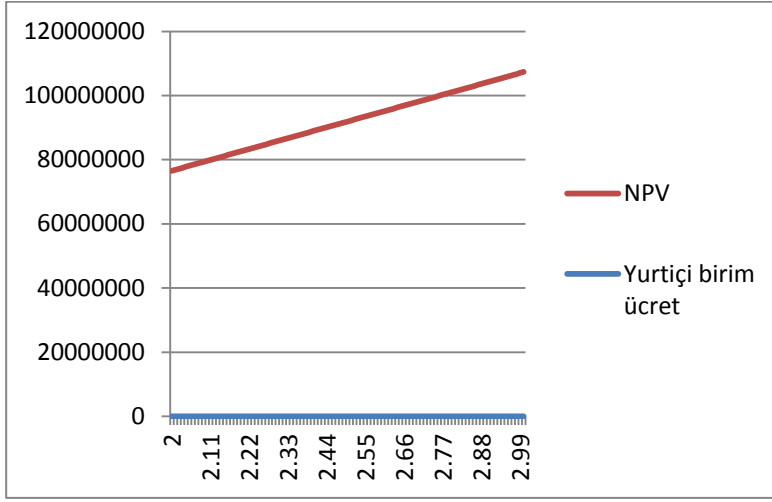
Finansal modelimizde, belirli bir kâr marjı altında optimize edilecek 4 karar değişkenimiz; özsermaye, sponsor çalışma dönemi, yurtiçi birim ücret ve yurtdışı birim ücret düzeyleri olarak belirlenmiştir. 20 yıllık sponsor çalışma dönemi içinde her bir karar değişkeninin diğer değişkenler sabit ve taban düzeylerindeyken bir birim artırılmasıyla projenin NPV'si üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu aşamada yapılan duyarlılık analizinin amacı karar değişkenleri hakkında genel bir bilgi edinmek ve optimizasyon modeli için karar değişkenlerinin alacağı sınırları belirlemek olarak sayılabilir.

Özsermaye seviyesi 0.20-1 aralığında değiştirilerek elde edilen NPV değerlerine göre aşağıdaki Şekil 13 çizilmiştir. Özsermaye düzeyi arttıkça projenin kârlılığı üzerinde negatif etki yapmaktadır. Özsermaye 0.63 düzeyinde proje kârlılığında başa baş noktasıdır. NPV'nin değişim aralığı oldukça yüksektir, NPV özsermaye seviyesine aşırı duyarlıdır.



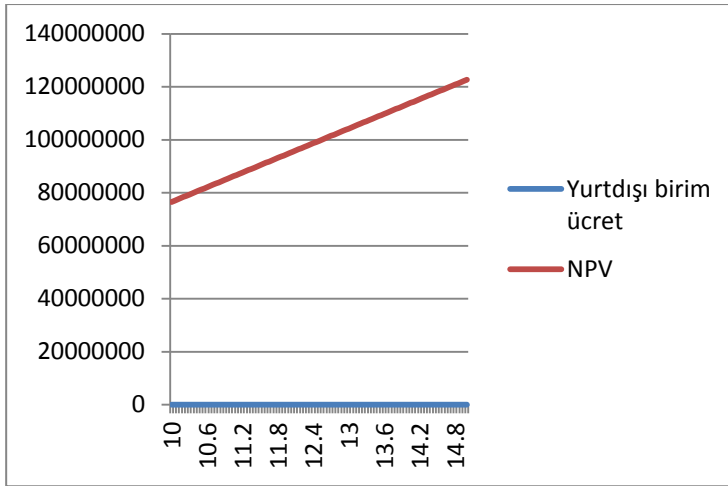
Şekil 13. NPV'nin Özsermaye Seviyesine Duyarlılığı

Yurtiçi birim ücret tarifesi 2-3 € aralığında değiştirilerek elde edilen NPV değerlerine göre aşağıdaki Şekil 14 çizilmiştir. Yurtiçi birim ücret tarifesi düzeyi arttıkça projenin kârlılığı da artmaktadır. Fakat özsermaye düzeyi kadar riskli bir değişken değildir, NPV eğrisi Şekil 13'den daha yatıktır ve NPV'nin değişim aralığı dardır. Bu projenin kârlılığı için özsermaye seviyesi daha duyarlıdır.



Şekil 14. NPV'nin Yurtiçi Birim Ücret Tarifesine Duyarlılığı

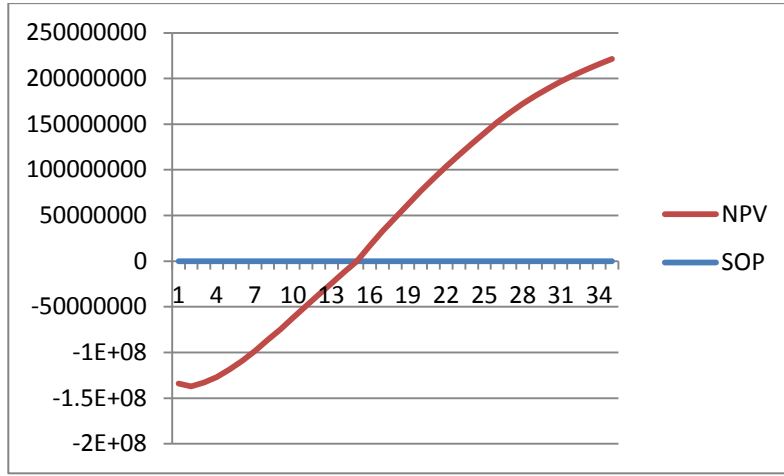
Yurtdışı birim ücret tarifesi 10-15 € aralığında değiştirilerek elde edilen NPV değerlerine göre aşağıdaki Şekil 15 çizilmiştir. Yurtdışı birim ücret tarifesi düzeyi arttıkça projenin kârlılığı da artmaktadır. Fakat özsermaye düzeyi kadar riskli bir değişken değildir, NPV'nin değişim aralığı, yurtiçi birim ücret tarifesi değişim aralığına göre daha fazladır. Yurtdışı birim ücret tarifesi, projenin kârlılığı için özsermayeden daha az duyarlı olduğu ve yurtiçi birim ücret tarifesinden daha fazla duyarlı olduğu söylenilebilir.



Şekil 15. NPV'nin Yurtdışı Birim Ücret Tarifesine Duyarlılığı

İmtiyaz süresinin uzunluğu yani burada 2 yıl yapım dönemi haricindeki sponsor çalışma dönemi için 1-49 yıl aralığı belirlenmiştir. SOP bu aralıkta değiştirilerek elde

edilen NPV değerlerine göre aşağıdaki Şekil 16 çizilmiştir. İlk 15 yıl kredi geri ödeme dönemi olduğu için kâra geçiş için başa baş noktası olmaktadır.



Şekil 16. NPV'nin Sponsor Çalışma Dönemine Duyarlılığı

Sponsor çalışma süresinin uzunluğu arttıkça projenin kârlılığı da artmaktadır. NPV'nin değişim aralığı büyük boyuttadır. Burada asıl dikkat edilmesi gereken husus sponsor çalışma döneminin 15 yıldan az olmaması gerektiğidir.

## 5.2. İhale Kazanma Probleminin Optimizasyon Problemine Dönüştürülmesi

YİD ihalesini kazanmak isteyen bir şirket imtiyaz süresinin uzunluğunu, özsermaye seviyesini ve birim fiyatları değiştirerek sağlayacağı kârdan ödün vermeden bu imtiyazlı öğelerin çekici kombinasyonlarını sunan ve YİD ihalesini kazanma potansiyelini büyüten finansal optimizasyon modeli geliştirilebilirler.

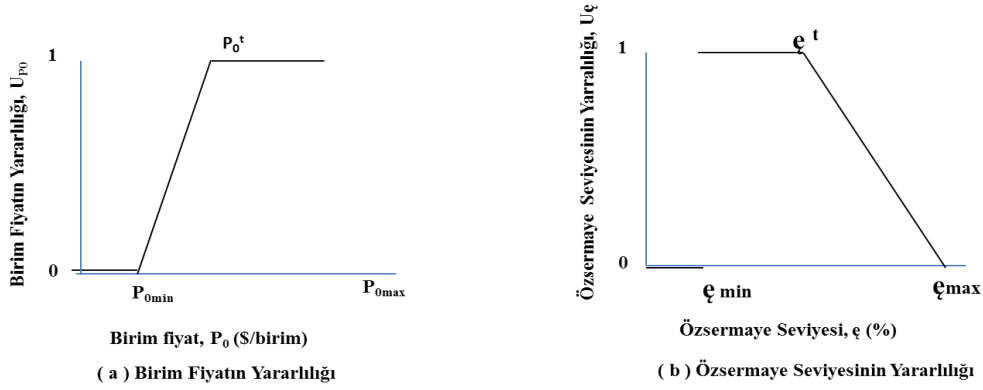
Kavramsal olarak, eğer diğer yatırım parametreleri değişmeden kalırsa, sponsorlar imtiyazlı öğelerin değerlerinin herhangi bir dizesinden makul bir kâr seviyesi elde edebilir (bakınız denklem 4.18). Önerilen sorun, bu nedenle, geleneksel finansal analiz modellerinin yaklaşımları gibi bir harekettir. Burada araştırma sorusu şudur, "sponsorların ihaleyi kazanma potansiyelini en üst düzeye çıkaran imtiyazlı öğelerin kabul edilebilir bir bileşimi nasıl belirlenir?"

Proje şirketinin YİD ihalesini kazanması için, hükümet kuruluşuna cazip gelen aynı zamanda diğer tekliflerle rekabet edebilecek finansal bir teklif sunması gerekir. Bu da makul bir kâr seviyesi sağlanırken olabilecek en düşük imtiyaz süresi ve en düşük birim fiyatlar belirlenerek gerçekleştirilebilir. Bir YİD yatırım projesi ihale kazanma

potansiyelini maksimize etmeye yol gösteren birim fiyatların ve imtiyaz süresinin en düşük değerlerini belirlemek için, bu araştırmada, İhale kazanma indeksi (Bid-Winning Index (BWI)) olarak adlandırılan finansal performans ölçümünü kullanılır. Bu indeks Manuel Islam, (2008)'deki çalışmasından esinlenerek oluşturulmuştur. BWI, sponsorların çalışma süresinin birim yılında sponsorların nakit akışlarının şimdiki net değerlerini birim fiyatlara oranlayan indeksi gösterir. Ayrıca BWI'e birim fiyatlar ve özsermaye düzeyi için seçilen belirli değerlerin yararlılığı yansıtılır. Böylelikle, birim fiyat ve öz sermaye düzeyinin yararlılığını sistematik olarak değerlendirmek mümkün olur.

Şöyle ki sponsorlar diğer tekliflerle rekabet edebilmek için, birim fiyatın minimum değerini belirli değere kadar arttırarak kârlılıklarını arttırabilirler. Bu belirli değer, hükümetin izin verdiği ve projeyi kaybetme riskinin olmadığı bir geçiş değeridir. Birim fiyatların, belirlenen bu geçiş değerlerinden daha da arttırılması karlılığı arttırır fakat yüksek birim fiyat yüzünden ihale başka bir şirkete kaptırılabilir, çünkü hükümet kuruluşu tüketicilere uygun bir fiyattan hizmet sunulmasını istemektedir. Buna göre sponsorlar için rekabet olanağını engellemeden kârlılık arttırılabilir, birim fiyatın yararlılığı Şekil 17 (a) da gösterildiği gibi, birim fiyatın minimum değeri maksimum yararlılık değerine (1) ulaşana kadar kademeli olarak arttırılır. Bu bölgenin ötesinde, birim fiyatın daha da artması hala sponsor kârlılığını artırır. Ancak, sponsorlar YİD proje sözleşmesini kaybetme tehlikesi altında kendilerini güvensiz hissedebilir. Birim fiyattaki aşırı bir artış, hükümetlerin beklentileri ile uyumlu olmayabilir.

Benzer mantık öz sermaye düzeyinin yararlılığı için de geçerlidir. YİD projelerinin ihale hükümlerine göre, sponsorların genellikle, en azından öz sermayenin belirli bir miktarına katkıda bulunması gerekir. Pahalı bir kaynak olan öz sermaye dikkate alındığında, asgari düzeydeki özsermaye olası sponsorlar için maksimum değerde (1) yarar sağlar. Buna karşın, sponsorlar genellikle hükümet kuruluşuna finansal taahhütlerini göstermek ve kazanma potansiyellerini geliştirmek için, öz sermaye seviyelerini belirli bir aralığa yükseltirler. Bu yüksek limit Şekil 17 (b) de gösterilmiştir. Özsermaye seviyesini bu aralıktan daha yüksek seviyede belirlemek sponsorların karlılığını azalttığı için yararlılığı kademeli olarak azaltılır.



Şekil 17. Birim Fiyat ve Özsermaye Seviyesinin Yararlılıkları

**Kaynak:** Islam, 2008: 96

Denklem (5.1), (5.2) ve (5.3), birim fiyat ve özsermaye seviyesinin yararlılıklarını matematiksel olarak ifade eder<sup>246</sup>. Aşağıdaki bağıntılardaki  $U_{DP_0}$  terimi, yurtiçi birim fiyat tarifesidir ve  $U_{IP_0}$  terimi yurtdışı birim fiyat tarifesini ifade eder.

$$U_{DP_0} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_0 \leq P_{0min} \\ \frac{P_0 - P_{0min}}{P_0^t - P_{0min}} & \text{eğer } P_{0min} < P_0 < P_0^t \\ 1 & \text{eğer } P_{0max} \geq P_0 \geq P_0^t \end{cases} \quad (5.1)$$

$$U_{IP_0} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_0 \leq P_{0min} \\ \frac{P_0 - P_{0min}}{P_0^t - P_{0min}} & \text{eğer } P_{0min} < P_0 < P_0^t \\ 1 & \text{eğer } P_{0max} \geq P_0 \geq P_0^t \end{cases} \quad (5.2)$$

$$U_\phi = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \phi_{min} < \phi \leq \phi^t \\ \frac{\phi_{max} - \phi}{\phi_{max} - \phi^t} & \text{eğer } \phi^t < \phi < \phi_{max} \\ 0 & \text{eğer } \phi \geq \phi_{max} \end{cases} \quad (5.3)$$

$P_{0max}$  = Yurtiçi ya da yurtdışı için maksimum birim fiyat;

$P_{0min}$  = Yurtiçi ya da yurtdışı için minimum birim fiyat;

$U_{DP_0}$  = Yurtiçi birim fiyatın yararlılığı;

<sup>246</sup> Islam (2008), s. 97

$U_{IP_0}$  = Yurtdışı birim fiyatın yararlılığı;

$U_{\epsilon}$  = özsermaye seviyesinin yararlılığı;

$\epsilon_{\min}$  = Minimum özsermaye seviyesi;

$\epsilon_{\max}$  = Maksimum özsermaye seviyesidir.

Ayrıca, sponsorlar için öz sermaye düzeyinin ve birim fiyatların göreceli önemi, pazar rekabeti ve proje şirketinin finansal gücü gibi çeşitli faktörlere bağlı olabilir. Bundan dolayı, birim fiyatların ve öz sermaye seviyesinin ağırlıklı ortalama yararlılığı aşağıdaki Denklem 5.4'te ele alındığı gibidir:

$$\bar{U} = \frac{(W_{DP_0} U_{DP_0} + W_{IP_0} U_{IP_0} + W_{\epsilon} U_{\epsilon})}{(W_{DP_0} + W_{IP_0} + W_{\epsilon})} \quad (5.4)$$

$\bar{U}$  = Birim fiyatların ve özsermaye seviyesinin ağırlıklı ortalama yararlılığı;

$W_{DP_0}$  = Yurtiçi birim fiyatın yararlılığının göreceli önemi temsil eden ağırlık faktörü;

$W_{IP_0}$  = Yurtdışı birim fiyatın yararlılığının göreceli önemi temsil eden ağırlık faktörü;

$W_{\epsilon}$  = Özsermaye seviyesinin yararlılığının göreceli önemini ifade eden ağırlık faktörüdür.

### 5.3. Optimizasyon Problemi

#### 5.3.1. Amaç fonksiyonu

Önerilen optimizasyon modelinin amaç fonksiyonu, YİD proje yatırımı için ihale-kazanma indeksini en üst düzeye çıkarır. Denklem (5.5) amaç fonksiyonunu tanımlar.

$$\text{Maksimum } BWI = \left( \frac{NPV^S \times \bar{U}}{P_{D_0} \times P_{I_0} \times SOP} \right) \quad (5.5)$$

Denklem (5.5) açıkça imtiyazlı öğelerin (sponsor çalışma süresi (SOP), birim fiyatlar ( $P_D$ ), ( $P_I$ ) ve öz sermaye seviyesi ( $\epsilon$ )) uygun değerlerine bağlı olan amaç fonksiyonunu gösterir. Bu dört imtiyazlı öğe, bu nedenle, önerilen optimizasyon modelinin karar değişkenleri olarak hareket eder. Amaç fonksiyonu incelendiğinde;

sponsorların bakış açılarından bir taraftan diğer tekliflerle rekabet edebilecek NPV değerini maksimum yapan karar değişkenleri belirlenirken, diğer taraftan hükümet kuruluşuna cazip bir finansal teklif sunabilmek için taban fiyatların ve sponsor çalışma süresinin ne dereceye kadar azaltılabileceği araştırılmaktadır. Fayda fonksiyonun eklenmesiyle de özsermaye seviyesinin ve taban fiyatların değişim aralıkları ağırlıklandırılmıştır.

Belirlenen BWI amaç fonksiyonu, Mainul Islam (2008) çalışmasının geliştirilmiş bir biçimidir. Sponsor operasyon süresi birden fazla (1) bir sayı olan bir ayrık değişken iken birim fiyatlar ve özsermaye düzeyi sürekli değişkenlerdir. Bu nedenle, referans optimizasyon modeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan optimizasyon problemi haline dönüşür. Fayda fonksiyonunun modele dahil edilmesiyle de problem kompleks yapıda olmaktadır.

### 5.3.2. Kısıtlamalar

Denklem (5.5)'teki amaç fonksiyonu aşağıdaki kısıtlamalara tabidir:

*Finansal kapasite:* Geliştirilen amaç fonksiyonu, sponsorların ihale kazanma potansiyelini maksimize etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, önerme sadece ve sadece bir YİD projesi finansal açıdan geçerli ise geçerlidir. Tipik olarak, bir YİD projesinin nakit akışlarının bugünkü değeri finansal kapasiteyi tanımlar. Eğer nakit akışının net bugünkü değeri sponsorların amaçlarına uygunsa, NPV<sup>s</sup> (denklem 4.17'e bakınız) ya pozitif ya da en az sıfırdır. Sponsorların bakış açılarından bir YİD projesinin finansal canlılığının garanti altına alınması denklem (5.6) ile sağlanmıştır.

$$NPV^s \geq 0 \quad (5.6)$$

*Finansal sürdürülebilirlik:* Bir YİD projesinin finansal kapasitesinin yani NPV değerinin pozitif olması yeterli değildir. Sponsor çalışma süresi boyunca belirli bir yıldaki net nakit akışının pozitif olması ( denklem 4.15'e bakınız) aynı derecede önemlidir. Sponsor çalışma dönemindeki yıllarda negatif nakit akışı gelir açığı yaratabilir ve sponsorların finansal performanslarını ciddi şekilde bozabilir. Örneğin, sponsorlar negatif nakit akışı olduğu yıllarda, kredi geri ödeme ve işletme ve bakım masrafları gibi düzenli giderleri karşılamada başarısız olabilir. Ayrıca negatif net nakit akışları, sponsorların kredi anlaşmasındaki borçlarını ödemede yetersiz olduklarına işaret eder. Bu nedenle sponsor çalışma süresinin belli bir yılı için sponsorların

beklenen net nakit akışları pozitif veya en azından sıfır olmalıdır. Denklem (5.7)'de sponsorların finansal sürdürülebilirliğinin sağlanmış; başka bir ifadeyle, sponsorlar açısından sponsor operasyon süresinin (SOP) her yılı boyunca negatif para akışı olmaması projenin sürdürülebilir olduğunu gösterir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, projenin yapısı gereği sponsor çalışma döneminin 2. yılından (j+1) itibaren bu kısıt sağlanmıştır.

$$NCF_{j+1}^S \geq 0 \quad (5.7)$$

*Kârlılık:* Sponsorlar YİD projesine kâr kazanmak için yatırım yaparlar. Ancak, hükümet kuruluşu sponsorların aşırı kâr sağlamasına izin vermeyebilir. Sponsorların kârlılıklarını belirli bir seviyede tutmak için IRR (sponsorların nakit akışının iç getiri oranı [(IRR<sup>S</sup>) denklem 4.18'de tanımlanmıştır]) oranından faydalanılır. Sponsorlar, kârın maksimum sınırında hükümet kuruluşunun kısıtlamalarına uymalıdır. Bundan dolayı, sponsorların beklenen kârının (IRR<sup>S</sup>) belirli en yüksek limitinde olması gerektiği denklem 5.8'de belirtilmiştir.

$$IRR^S \leq IRR_U^S \quad (5.8)$$

$IRR_U^S = IRR^S$  in üst limitidir.

*Borç servisi:* Önceden belirlenmiş kredi geri ödeme dönemi boyunca öngörülen yıllık borç-servisi karşılama oranlarının ortalaması belirli bir minimum değerden az değil ise bir YİD projesi kredi kuruluşları açısından sağlam sayılır<sup>247</sup>. Ortalama borç servisi karşılama oranının belirli bir değerden az olmaması gerektiği denklem 5.9 ile sağlanmıştır.

$$DSCR_{avg} \geq \tau \quad (5.9)$$

$DSCR_{avg}$  = Borç geri ödeme süresince borç servisi karşılama oranının ortalaması;

$\tau$  = Borç servisi karşılama oranının alt limitidir.

*Hükümet kuruluşu için finansal dönüş:* Hükümet operasyon döneminde hükümet kuruluşunun nakit akışlarının net bugünkü değeri, yani, NPV<sup>G</sup> (bakınız denklem 4.20) pozitif olmak zorundadır. Hükümet kuruluşu tesisi devraldıktan sonra kazanç elde etmede endişe duyar. Bu sebeple, denklem (5.10) pozitif NPV<sup>G</sup> sağlar. Ayrıca, denklem (5.11) muhtemel sponsorların kârlılığını korur, yani, olumlu bir NPV<sup>G</sup> türetilmesi,

<sup>247</sup> Bakatjan (2003).

olumlu bir  $NPV^S$ 'e ulaşılmasına engel olmamalıdır<sup>248</sup>. Fakat bu çalışmadaki gerçek dünya verileri hükümetin ve sponsorların pozitif net nakit akışı elde etmesine olanak sağladığı için Denklem 5.11 kullanılmamaktadır. Farklı projeler için uygulanabilir.

$$NPV^G \geq 0 \quad (5.10)$$

$$NPV^S \geq NPV^G \quad (5.11)$$

*Karar değişkenleri için aralık kısıtlamaları:* Son olarak, karar değişkenlerinin (yani imtiyazlı öğelerin) değerlerinin verilen sınırlar içinde bulunması denklem (5.12) ile sağlanır.

$$OP_{max} \geq SOP \geq OP_{min}, \quad P_{0_{max}} \geq P_0 \geq P_{0_{min}}, \quad \epsilon_{max} \geq \epsilon \geq \epsilon_{min} \quad (5.12)$$

$OP_{max}$  = Operasyon döneminin maksimum değeri;

$OP_{min}$  = Operasyon döneminin minimum değeridir.

Sponsorlar kendi ihale hedeflerini belirlemek için hedeflenen optimizasyon modelini kullanabilirler. Kısım 5.4'te, deterministik yatırım ortamı içinde hedeflenen optimizasyon probleminin çözüm yöntemi detaylandırılacaktır. Bu kısımlarda ayrıca sayısal örnekler aracılığıyla önerilen algoritmanın yetenekleri gösterilecektir.

## 5.4. Deterministik Yatırım Ortamında Optimizasyon Probleminin Çözümü

### 5.4.1. Çözüm yöntemi

Kısım 5.3.1'de ifade edildiği gibi, önerilen optimizasyon problemi karışık tam sayılı optimizasyon problemidir ve gerçek değerli kodlamayla kullanılacaktır. Dördüncü bölümde bu tür sorunların çözümünde DE algoritmasının uygunluğundan söz edilmiştir. Bu bölümde, bu nedenle deterministik yatırım ortamı içinde önerilen optimizasyon probleminin çözümü için bir DE tabanlı metodoloji sunulacaktır.

Dördüncü bölümde, klasik bir DE algoritmasının referans optimizasyon probleminin üreme döngüsünün ve amaç fonksiyonunun değerlendirilmesini içeren gerekli birkaç adımı ayrıntılandırılmıştır. Dördüncü bölümde ayrıca çok amaçlı problemler için geliştirilen ayrıştırmaya dayalı algortmada kullanılan komşuluk yapısına yönelik oluşan mekanizmalardan söz edilmiştir. Bütün bunlar deterministik DE modeli gelişiminde burada kullanılacaktır. Model tek amaçlı DE algoritması gibi

<sup>248</sup> Shen vd. (2002), s. 326-330'dan aktaran Islam (2008), s. 100.

modifiye edilecektir. Ayrıca, tek amaçlı optimizasyon probleminin değerlendirilmesi için kısıtlamaların tatmin edilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen optimizasyon problemi farklı türden kısıtlamaları içermektedir. Denklem 5.6-5.10'da ifade edilen kısıtlamaların bazıları (denklem 5.6-5.7-5.10) proje şirketinin YİD projesi ihalesini kazanması için gereken şartları sunarken bazıları (denklem 5.8-5.9) uygulanabilir çözümlerin aralığını sağlamaktadır. Tüm kısıtlamaların sağlanmasıyla imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerine ulaşılabilecektir.

Ancak, kısıtlamaların türüne bakılmaksızın, kısıtlamaların varlığında güvenilir çözümler sunulmasında DE genel olarak yetersiz kalır çünkü DE sadece amaç fonksiyonu ile çalışır. DE uygulamalarında kısıtlamaları ele almak için birçok teknik kullanılabilir. Bu teknikler dört geniş kategoriye ayrılır; reddetme, onarma, değiştirme ve ceza stratejileridir<sup>249</sup>.

Ceza stratejisi, sadece değerlendirme aşamasında kullanılır. Bu aşamada, uygunsuz kromozomlar seçim sınırlılıklarına uymadıkları için cezalandırılmış olur. Ceza tekniğinin kullanılmasının özü her üretimde uygunsuz çözümleri belirli miktarda tutmaktır. Her üretimde uygunsuz çözümleri reddetmek basit değildir, çünkü bazıları, en iyi çözüm hakkında bazı uygun çözümlerden daha yararlı bilgiler içerebilir<sup>250</sup>. Ceza stratejisi böylece bilgi koruma ve DE'deki seçici güç arasında bir denge elde etmeye yardımcı olur.

Bu çalışmada uygulamalarda çok fazla karşılaşılan bir ceza stratejisi benimsenmektedir. Amaç fonksiyonu uyumluluk değerleri sınırlılıkların ihlalinin büyüklüğüne göre aşağıdaki denklem (5.13) ile cezalandırılmış olur. Uygun çözüm alanına girmeyen kromozomlara, çözüm alanına uzaklığı ölçüsünde amaç fonksiyonuna negatif etki edecek şekilde değer aldırılır.

$$P(x) = \sum_{i=1}^m (r_i * g_i^2(x)) \quad (5.13)$$

Amaç fonksiyonu içine ceza teriminin dâhil edilmesiyle, BWI uygunluk fonksiyonu aşağıdaki denklem (5.14)'te tanımlanır:

---

<sup>249</sup> Kapanoğlu (2011).

<sup>250</sup> Kapanoğlu (2011).

$$\text{Maksimum BWI} = \left( \frac{NPV^S x \bar{U}}{P_{D_0} x P_{I_0} x SOP} \right) - P(x) \quad (5.14)$$

Yukarıdaki denklemde “maksimum BWI” uygunluk değerini, “m” terimi kısıt sayısını, “r<sub>i</sub>” terimi i’inci kısıt için değişken ceza parametresini, “g<sub>i</sub>” terimi i’inci kısıtın sağlanmama miktarını ifade eder. “g<sub>i</sub>” negatif olduğunda operandın karesi alınır, aksi takdirde P(x) sıfır olarak kabul edilir.

#### 5.4.1.1. Hesaplama prosedürleri

Optimizasyon problemini çözmek için Matlab ortamında tek amaçlı komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritması tasarlanmıştır. Aşağıdaki ifadelerde kullanılan sembollerin anlamları şöyledir:

- $x_i = (x_1, \dots, x_n)$  karar değişkenleri çözüm vektörü (kromozomlar);
- $k = \{1, \dots, n\}$  karar değişkenleri sayısı;
- $N =$  Popülasyon büyüklüğü;
- $P =$  Popülasyon uzayı;
- $\lambda^i = (\lambda^1, \dots, \lambda^N)$  ağırlık vektörü,  $i = \{1, \dots, N\}$  için;
- $T =$  Komşu sayısı;
- $B(i) = \{i_1, \dots, i_t\}$  komşuluk uzayı,  $t = \{1, \dots, T\}$  için ;
- $f(x_i) = x_i$  kromozomunun uyum değeri;
- $z^* = f(x_i)$  için o ana kadar bulunmuş en iyi uyum değeri;
- $\delta$  : Ebeveyn çözümlerin komşuluktan seçilme olasılığı,
- $r_i =$  mutasyon için baz vektör ( $r_0$ );
- $r^1$  ve  $r^2$ : mutasyon için seçilecek kromozomlar,  $r^1$  ve  $r^2 \in P$ ;
- $f(y_i) =$  yavru kromozomun uyum değeri  $i = \{1, \dots, N\}$  için;
- $v_i =$  Mutant vektör;
- $CR$ : DE çaprazlama oranı;
- $F$ : DE mutasyonunda F faktörü;
- $c$  :  $f(y_i)$  ile  $f(x_i)$  karşılaştırıldığında  $f(y_i)$ 'nin büyük olma sayısı;
- $n_r$  :  $f(y_i)$  ile yer değiştiren  $f(x_i)$  çözümlerin maksimum miktarı  
 $\max f(x_i) \quad x \in \Omega$  için

*Prosedür;*

Adım1: Başlatma

Adım 1.1: Her bir kromozoma ağırlık değeri ata. Ağırlık vektörleri arasındaki Öklid uzaklığını ve her bir ağırlık vektörü için en yakın T komşuyu hesapla.

$i=\{1,\dots,N\}$  için,

$B(i)=\{i_1,\dots,i_t\}$  komşuluk uzayı oluştur.

$\lambda^{i^1}, \dots, \lambda^{i^t}$  vektörleri,  $\lambda^i$  vektörüne en yakın T vektörleridir.

Adım 1.2: Rastgele bir başlangıç popülasyonu oluştur ( $x_1, \dots, x_N$ ).

Adım 1.3:  $z^* = \max_{1 \leq i \leq N} f(x_i)$  başlat

Adım 2: Güncelleme

$i=1,\dots,N$  için

Adım 2.1: Eşleme havuzunun seçimi

[0,1] arasında düzgün dağılımlı rassal sayı üretilir. Üretilen sayı  $\delta$  değerinden küçükse  $x_i$  kromozomunun komşuluğu değilse tüm popülasyon eşleşme havuzu için popülasyon oluşturur.

$$P = \begin{cases} B(i) & \text{eğer } rand < \delta \\ \{1, \dots, N\} & \text{diğer} \end{cases}$$

Adım 2.2: Çoğalma

$r_0 = i$  eşitliğini sağlayın ve P'den rastgele iki  $r_1$  ve  $r_2$  dizgisi seçin daha sonra yeni bir  $DE/r_i/1/bin$  notasyonundan yeni bir  $\bar{y}$  çözümü (yavru) oluşturun.

Mutasyondan mutant vektör bul.

$$v' = x^i + (F + rand(0,1) * (1 - F))(x^{r_1} - x^{r_2})$$

Çaprazlamayla yavru elde et.

$$y_i = \begin{cases} v_{i,k}, & rand_k(0,1) \leq C_r \quad \forall k = k_{rand} \\ x_{i,k}, & rand_k(0,1) > C_r \quad \wedge k \neq k_{rand} \end{cases}$$

Adım 2.3: Onarım

Eğer bir  $y_i$  elemanı (yavru kromozom),  $\Omega$  sınırının dışındaysa, onun değeri, sınırlar içinde rastlantısal olarak belirlenmiş bir değerle resetlenir.

#### Adım 2.4: Referans noktası güncelleme

Eğer  $z^* < f(y_i)$  ise,  $z^* = f(y_i)$ 'dir.

#### Adım 2.5: Çözümlerin yerlerini değiştirme

(1)  $f(y)$  ve  $f(x)$  hesaplayın.

(2)  $c=0$  seç, eğer  $f(y) \geq f(x)$  ise  $c=c+1$

(3.1) Eğer  $c \leq n_r$  ise,  $f(y) \geq f(x)$  ile birlikte,  $x = y$ 'dir.

(3.2) Eğer  $c > n_r$  ise,  $f(y) \geq f(x)$  ile birlikte,  $f(y)$  ve  $f(x)$  arasındaki Öklid bağıntısını hesaplayın ve onları sıralayın. En küçük aralıklarda  $n_r$  çözümlerini seçin.  $x = y$  eşitliğini sağlayın.

#### Adım 3: Durma kriteri:

Eğer durma kriteri doygunsa, algoritma durdur ve çıktı olarak  $\{x_1, \dots, x_N\}$  ve  $\{f(x^1)\}$  oluşur. Aksi takdirde Adım 2'ye dön.

DE (BWI Model)'nin hesaplama prosedürleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

1. Adım: DE parametrelerini ve YİD projesinin yatırım parametrelerini gösteren giriş verilerini tanımla.
2. Adım: Popülasyon büyüklüğüne göre her kromozoma ağırlık vektörü ata. Ağırlık vektörleri arasındaki Öklid aralıklarını ve her bir ağırlık vektörü için en yakın (komşu) T vektörünü hesapla.
3. Adım: Kromozomların kümesini, parametrelerin sınırları dâhilinde rastgele oluşturarak ilk nüfusu yap ve kromozomların uyumluluk değerlerini hesapla.
4. Güncelleme için amaç fonksiyonunun en iyi ve en kötü değerini sakla.
5. Adım: Eşleşme havuzu için  $[0,1]$  arasında düzgün dağılımlı rassal sayı üret. Üretilen sayı  $\delta$  değerinden küçükse  $x_i$  (hedef vektör) kromozomunun komşuluğundan değilse tüm popülasyondan DE operatörlerini kullan.
6. Adım: Reddetme stratejisi kullanarak uyumlu kromozom seti ile mevcut nüfusu güncelle (yavru sınır dışındaysa sınır içine taşı)
7. Adım: Güncelleme için amaç fonksiyonunun en iyi ve en kötü değerlerini güncelle
8. Adım: Yer değişimi mekanizması için, yavru kromozomun değerini,  $x_i$  kromozomunun (hedef vektörün) tüm "T" komşularıyla karşılaştır ve eğer yavru

kromozomun değeri “T” komşuların bir çoğundan daha iyi uygunluk değerine sahipse, en yakın komşuları sırala ve “n<sub>r</sub>” sayıda çözümle yer değişimi yap.

9. Adım: Çözüm yakınsaması olup olmadığını kontrol etmek için nesillerin önceden belirlenmiş maksimum sayılarına ulaş; eğer yoksa, Deterministik DE (BWI Model)’nin sona ermesine kadar 5-8 adımlarını tekrarla,
10. Adım: Deterministik DE(BWI Model)’nin bitiminde en iyi çözümü ve ilgili özeti raporla.

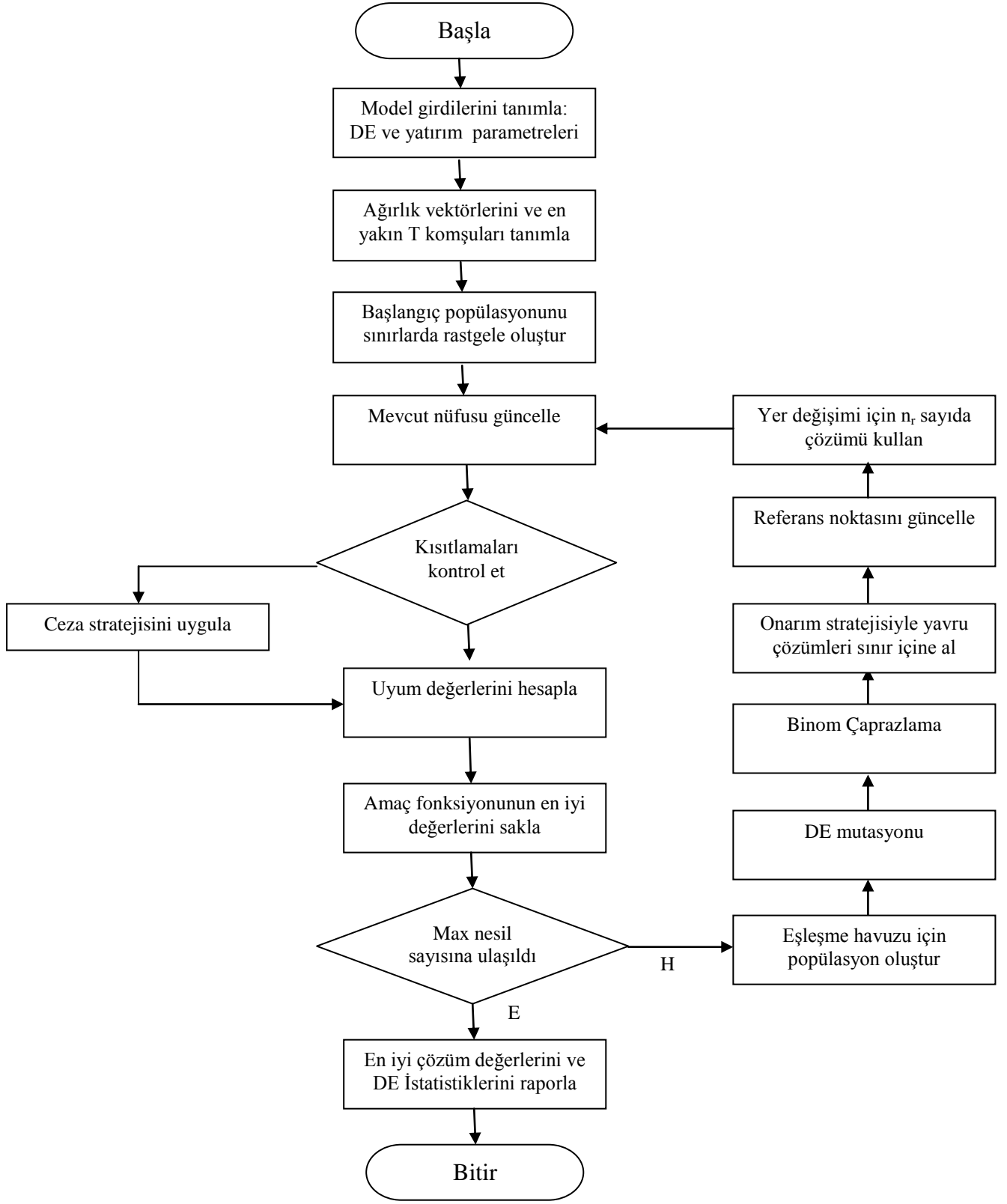
Sponsorların ihale kazanma potansiyelini artırmak için tek amaçlı optimizasyon problemi tasarlanmıştır. Dördüncü bölümün 4.2.5.2. kısmında ayrıntılarıyla ifade edilen MOEA/D-DE algoritması değiştirilerek kullanılmıştır. Kullanılan algoritma çok amaçlı MOEA/D-DE algoritmasından ve klasik DE algoritmasından şu noktalarda farklılaşmaktadır:

Çok amaçlı ayrıştırmaya dayalı Diferansiyel Evrim algoritmasındaki (MOEA/D-DE) komşuluk konsepti tek amaçlı optimizasyon problemimizde kullanılmıştır. Bunun sebebi, popülasyondaki çeşitliliği artırmaktır. Seçim operatöründe, klasik DE algoritmasında olduğu gibi ebeveyn vektör için üretilmiş yavru vektörü sadece ebeveyn vektörün uyum değeriyle kıyaslamaz, ebeveyn vektöre komşu tüm T vektörlerle kıyaslanır ve komşu olmayan vektörlerle ilgilenilmemektedir. Eğer bir yavru kromozom T komşuların çoğundan daha iyi uygunluk değerine sahipse en yakın “n<sub>r</sub>” tanesiyle yer değişimi gerçekleştirir. Böylelikle çeşitlilik sağlanmış olur çünkü yer değişimi mekanizması en kötü kromozomu elimine ederek işlemez. Bu şekilde algoritmada farklı bir kuşaksal strateji benimsenmiştir.

MOEA/D-DE’de her bir kromozom için atanan  $\lambda$  ağırlık değerleri normalize edilmiş uyum değerleriyle çarpılmaktaydı, burada uyum değerleri  $\lambda$  değeriyle çarpılmamaktadır,  $\lambda$  ağırlık değerleri sadece komşuluk ölçüsünü belirlemek ve çeşitlilik sağlamak için kullanılmaktadır.

MOEA/D-DE’de çok amaçlı minimizasyon problemi için algoritma oluşturulmuştu, birden fazla amaç değerinin kıyaslanması için uyum değerleri her bir amaç için ayrı ayrı hesaplandığından minimum değerler göz ardı edilip maksimum değerler dikkate alınmıyordu. Bu çalışmada geliştirdiğimiz algoritma tek amaçlı olduğu için kromozomların uyum değerleri kıyaslandığında daha iyi uyum değerine sahip kromozom hayatta kalır.

Aşağıda Şekil 18’de algoritmanın akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 18. DE (BWI Model) 'in Hesaplama Prosedürleri Akış Şeması

Şekil 18 Deterministlik DE (BWI Model)'in hesaplama prosedürlerini akış şeması içinde özetler.

#### 5.4.2. Sayısal örnek

Bu bölümde, proje şirketinin ihaleyi kazanma potansiyelini optimize etmek için deterministik ortamda BWI modelinin belirtilen kapasitesinde, bu bölümün başında 6. ve 7. Tablolarda gösterilen veriler kullanılarak sayısal bir örnek ile uygulama sağlanmıştır. Bu veri seti gerçek dünya YİD projesini temsil etmektedir. BWI modeli kullanılmasının sebebi ise seçilen deterministlik (BWI Model)'in YİD yatırım fırsatı finansal modelleri içinde tabiri tamamen yeni bir yaklaşımdır (optimizasyon yöntemleri kullanılarak gelişmiştir), model sonuçları bununla karşılaştırılabildiğinde benzer çalışmalar fazlaca mevcut değildir (özellikle, imtiyazlı öğelerin yaklaşık-optimal değerleri).

Burada ortaya atılan araştırma sorusu şudur “İmtiyazlı öğelerin belirli bir kâr marjı altında uygun bir bileşimi proje şirketinin ihale kazanma potansiyelini sağlar mı? Bu iddialı önermenin cevabı imtiyazlı öğelerin uygun değerlerinin tanımlanmasıyla bulunur. Bunu yaparken de sponsorlar, denklem (5.6)-(5.10)'da tanımlandığı gibi sponsorların, hükümet kuruluşunun ve kredi verenin çelişen finansal çıkarlarını ele almak zorundadır. Bu nedenle, deterministlik DE(BWI Model)' i imtiyazlı öğelerinin (ör. Sponsor çalışma dönemi, taban fiyatlar ve sermaye düzeyi) değerlerini optimize etmek için çaba gösterir, sponsorların ihale kazanma potansiyelini maksimize eder.

Sponsorların ihale kazanma potansiyelinin deterministlik DE (BWI Model) ile optimizasyonunda karar değişkenlerinin aşağıdaki aralıkları kullanılır: Sponsor çalışma dönemi (15-49) yıl; yurtiçi birim ücret (2-3) €; yurtdışı birim ücret (10-15) €; ve sermaye düzeyi yüzde (20-40). Seçilen aralıklar özsermaye düzeyi için Bakatjan vd. (2003)'de detaylandıkları ve diğer karar değişkenlerinin aralıkları Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Ücret Tarifeleri 2012 ile uyumludur. Sponsor çalışma dönemi 15 yıllık olarak bildirilen kredi geri ödeme süresinden daha az olamaz. Bu nedenle sponsor çalışma döneminin alt sınırı 15 yıl olarak alınır. YİD sözleşmelerine göre en fazla 49 yıllığına imtiyaz tanındığı için 49 yıl, sponsor çalışma döneminin üst sınırı olarak seçilmiştir. DHMI'nin tarifesine göre, yurtiçi birim ücret tarifesinin alt ve üst limitleri sırasıyla 2.0-3.0 € olarak seçilmiştir. Yurtdışı birim ücret tarifesi için ise

10.0-15.0 € alt ve üst limitleri seçilmiştir. Tarifeler için seçilen üst limit en iyi ihale kazanma potansiyelini elde etmek amacıyla tarifelerdeki en yüksek değerlerin önemli olup olmadığının incelenmesini kolaylaştırır. Sonuç olarak, sponsorlar YİD sözleşmesinde sermaye düzeyinde en az %20 oranında katkıda bulunmak zorunda olduklarından, bu düzey sermaye oranının taban seviyesi olarak kabul edilmiştir. Genelliği kaybetmeden, sermaye seviyesinin üst sınırı %40 olarak kabul edilir. Birim fiyatlar ve sermaye düzeyi geçiş-eşik değerleri sırasıyla yurtiçi birim ücret için 2.7 €, yurtdışı birim ücret 12 € ve özsermaye için %25 olarak seçilir.

Sponsorların kârlılığın üst sınırı [denklem (5.8)'de belirtildiği gibi] %15 olarak ayarlanır. Bu oran, sponsorların beklenen kârındaki üst sınır, hükümetin YİD projelerinden şirketlerin aşırı kâr sağlamasını istemedikleri için ve benzer çalışmalar geneline karşılık gelmektedir. Ayrıca, Bakatjan vd (2003) bir projenin borç servisi karşılama oranının (DSCR) 1.10-1.25 arasında olduğunda geçerli olduğunu, DSCR 1.30-1.50 arasında olduğunda tatmin edici ve rahat olduğunu ve DSCR 1.50'den yukarı olduğunda tercih edilir olduğunu belirtmişlerdir. Ortalama DSCR'nin eşik sınırı oranı 1.50 olarak kabul edilir.

Yukarıda sözü edilen YİD projesi yatırım parametrelerine ek olarak, model için diğer girdiler DE parametreleridir. Tablo 9'da deterministik DE (BWI Model)'de kullanılan DE parametre değerleri listelenmiştir.

*Tablo 9. Deterministik DE (BWI Model) İçin Parametreler*

Diferansiyel Evrim Algoritması Parametreleri	Değer
Popülasyon Büyüklüğü, N	30
Ölçekleme Faktörü, F	0,5
Çaprazlama Olasılığı, Cr	0,5
Komşuluk Büyüklüğü, T	10
Komşuluktan seçilen ebeveyn çözümlerin olasılığı, $\delta$	0.1
Yavru çözümlerle yer değiştirecek çözümlerin maksimum miktarı, $n_r$	1
Ceza katsayısı, $P_{coeff}$	$10^9$
Maksimum nesil sayısı, G	200

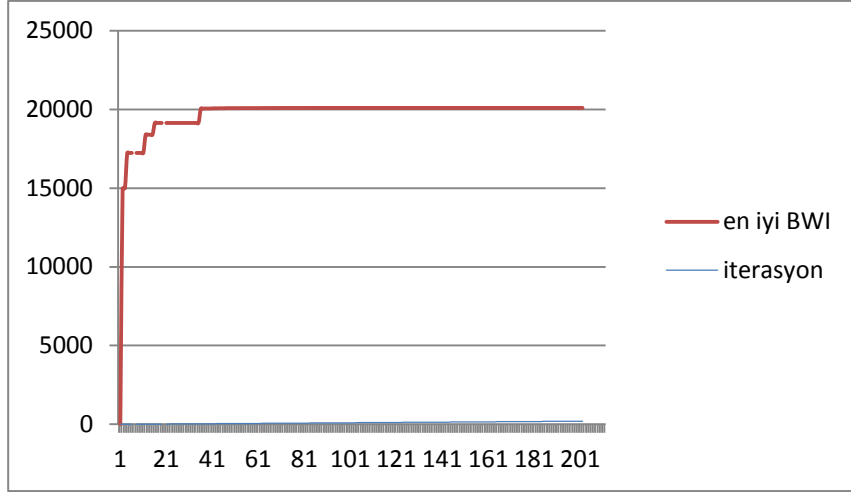
Komşuluktan seçilen ebeveyn çözümlerin olasılığının ( $\delta$ ), 0,1 seçilmesi, genetik operatörler kullanılırken, DE mutasyonu için seçilen iki ebeveyn kromozomun, hedef vektörün komşularından değil de tüm popülasyondan seçilmesi anlamına gelir. Çünkü algoritmanın ayrıştırmaya dayalı MOP algoritması gibi değil, klasik DE algoritması gibi çalışması istenmektedir. Yine, yavru çözümlerle yer değiştirecek çözümlerin maksimum miktarı olan “ $n_r$ ”ın 1 seçilmesi, kaliteli bir çözümün sadece komşu bir vektörle yer değişimi gerçekleştirebildiğini gösterir.  $T$ 'nin ve  $n_r$ 'ın belirlenmesi algoritmanın farklı çalıştırmalarından elde edilmiştir.

### 5.4.3. Model sonuçlarının analizi

Bu kısım, deterministik DE'den (BWI model) elde edilen sonuçların tartışmasını iki basamakta sağlar. İlk olarak, deterministik DE yoluyla sağlanan sonuçların yakınsaması gösterilir. İkinci olarak, YİD projeleri için sponsorların ihale kazanma potansiyelinin maksimizasyonuna yol açan imtiyazlı öğelerin yakın optimal değerleri tasvir edilir. Herhangi DE tabanlı optimizasyon modelinden güvenilir çözümler elde etmek için sabit yakınsama davranışının gözlenmesi olası olduğundan, bu bölümde sırasıyla aşağıdaki tartışmalar dizisi vardır.

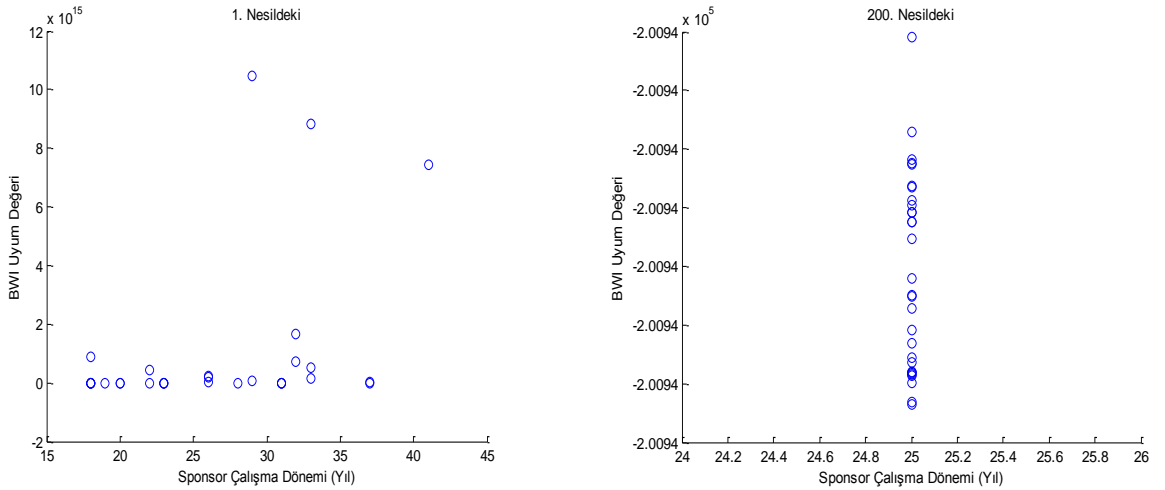
#### 5.4.3.1. Deterministik DE (BWI Model) yakınsaması

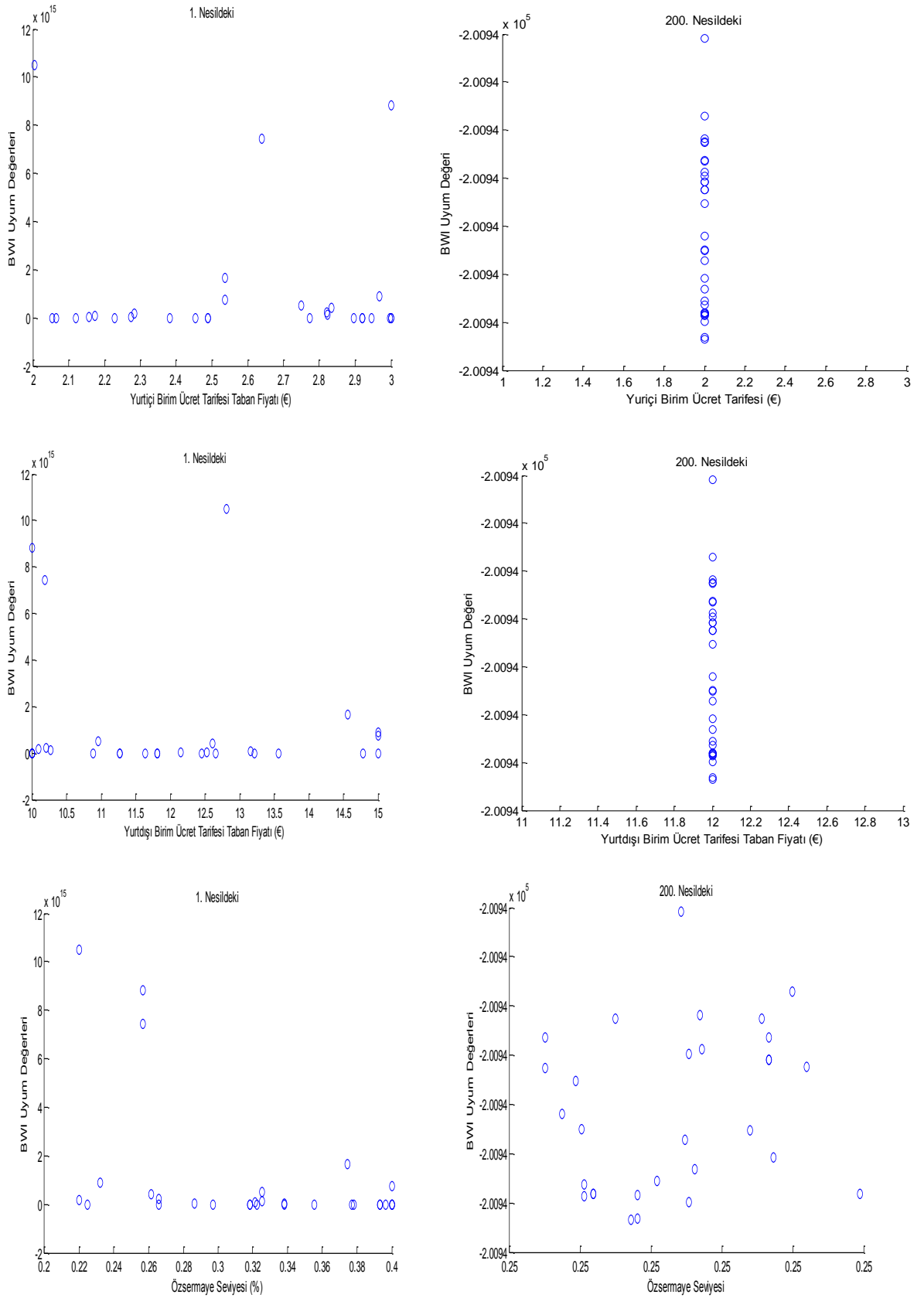
Deterministik DE modelinin global yakın-optimal BWI uyum değeri üretimindeki yakınsama davranışı aşağıdaki Şekil 19'da gösterilmiştir. Şekil 19, ilgili nesil numaralarına karşı mevcut en iyi BWI uyum değerlerinin grafiğidir. Mevcut en iyi BWI uyum değeri ilerleyen nesillerde elde edilmiş olan deterministik DE'nin en yüksek BWI uyum değerini belirtir. Şekil 19'da görüldüğü gibi mevcut en iyi BWI uyum değerleri nesiller boyunca giderek gelişmiştir ve sonunda yakın-optimal değere 60. nesilde yakınsamıştır. Erken nesillerdeki (özellikle 5. nesil ile 45. nesil arasında) BWI uyum değerlerinin ortalama varyans hareketinin sonraki nesilde bulunanlarla karşılaştırıldığında çok yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Bu aslında ilk kuşaktaki yeterli nüfus çeşitliliği nedeniyle olur, bu çeşitlilik deterministik DE'nin global yakın-optimal BWI uyum değerini sağlamasına sebep olmuştur. Çünkü global bir çözüm elde etmek erken nesillerde nüfus çeşitliliğini sağlamak önemlidir.



Şekil 19. Mevcut En İyi BWI Uyum Değerinin Gelişim Profili

Aşağıdaki Şekil 20’de, hem başlangıç popülasyonu (1. nesildeki) için hem de son popülasyon ( 200. nesildeki) için BWI uyum değerlerine karşılık gelen her bir genin pozisyonunu saçılım grafiklerine göre detaylandırılmıştır. Şekil 20’deki genlerin dağılımları incelendiğinde, deterministik DE’nin (BWI Model) yakınsaması daha fazla doğrulanır. Şekilde gösterildiği gibi, ilk nüfustaki genler çok dağınıktır. (ilk nüfusun oluşmasındaki dağınıklık nedeniyle) ve farklı BWI uyum değerlerini nitelendirir. Buna karşılık, son popülasyondaki genler sık yoğunlaşmıştır. Bu bulgular deterministik DE’nin (BWI Model) yakınsamasının iyi olduğunu gösterir.





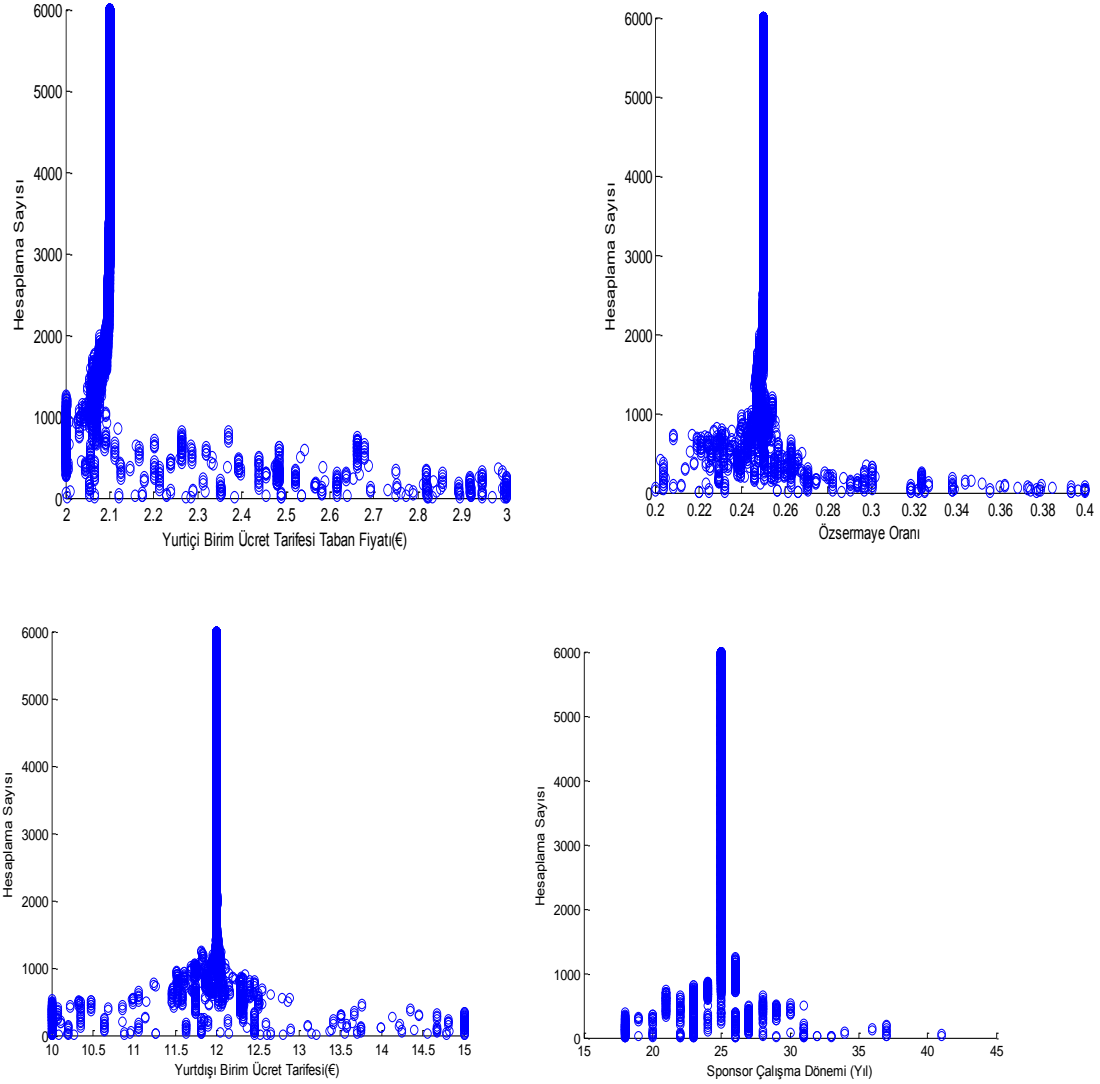
Şekil 20. Deterministik DE'den (BWI Model) Elde Edilen Genlerin Pozisyonu

Amaç fonksiyonumuz maksimizasyon problemidir, fakat kullanılan DE algoritması minimizasyon problemleri için tasarlanmıştır. Amaç fonksiyonunun değeri yani BWI uyum değerleri eksi bir (-1) ile çarpılarak hesaplanmıştır. Bu sebeple şekillerdeki negatif uyum değerleri aslında pozitif gibi düşünülmelidir ve pozitif değerler, negatif gibi düşünülmelidir.

Yukarıdaki Şekil 20’de görüldüğü gibi, başlangıç popülasyonundaki çözümlerin çoğunluğu (yani, kromozomlar) pozitif BWI uyum değeri sergilemektedir. Bu aslında ilk nüfustaki çözümlerin uyumlu olmamasından dolayıdır. DE, kısıtlamaları ihlal eden çözümleri cezalandırır böylece pozitif BWI uyum değerleriyle sonuçlanır. Öte yandan, Şekil 20’de gösterildiği gibi, son popülasyondaki hemen hemen bütün çözümler çok küçük farklarla BWI uyum değerlerini sergiler. Bu çözümler DE’nin iyi olan araştırma yeteneğinin sonuçlarıdır. Ayrıca bu çözümler BWI uyum değerinin optimallerinin elde edilmesinde etkili olmamıştır, bunun yerine yakın optimal çözümün yakın çevresinde etkili olmuşlardır. Bu bulgu model sonuçlarının istikrarını sağlar. Not olarak özsermaye düzeyi 200. nesilde 0.25’tir fakat program çok küçük farklılıkları yansıtabilmektedir.

İlk popülasyondan son popülasyona doğru giden nesiller olarak genlerin gelişimi Şekil 21’de (bir sonraki sayfada verilen) gösterilmiştir. 30 popülasyon büyüklüğü ve 200 iterasyon sonucunda 6000 defa hesaplama yapılmaktadır. Şekil 21 incelendiğinde, özellikle optimizasyon sürecinin başlangıcındaki (yani, ilk nesilden yaklaşık 60. nesil’e kadar) deterministik DE’nin (BWI Model) geniş bir aralıkta genleri değiştirdiği gözlenmektedir. Bu bölgedeki değişik eğimler ve yükselişler ( Şekil 21’e bakınız) deterministik DE’nin ayrıntılı araştırma yeteneğini gösterir. Takip eden nesillerde, özellikle 70. nesillerden sonrasında, DE yeni gen kombinasyonları üretmeye ve değerlendirmeye devam etmesine rağmen en iyi geçerli BWI uyum değeri üretme açısından daha iyi bir gen kombinasyonu tanımlayamaz. Aslında, mevcut en iyi BWI uyum değerlerine karşılık gelen genler nesillerin geri kalanında değişmeden kalır. Bu bulgu deterministik DE’nin (BWI Model) çözümü olmayan gelişme sınırına ulaştığını ve böylece üreme döngüsünün sonlandığını ima eder. Üstelik 200. nesildeki BWI uyum değerinin yakınsaması, deterministik DE’nin, nesillerin önceden belirlenmiş maksimum sayısını tamamlamak (güncel çalışmalarda 500-1000 civarındadır) için ek hesaplama çabasına ihtiyacı olmadığını ortaya çıkarır. Bu deterministik DE’nin (BWI Model) bir hesaplama avantajıdır. Böylece deterministik DE’nin (BWI Model) hesaplama avantajı

ile kaliteli ve istikrarlı çözümler ürettiği Şekil 21’de gösterilmiş olmaktadır. Aynı model, Matlab ortamında ve Excel ortamında, genetik algoritma tabanlı optimizasyon çözücüsünden yararlanılarak optimize edilmiştir, fakat bu algoritmanın ulaştığı noktaya tekrar eden çalıştırmalarda ulaşamamıştır.



Şekil 21. Deterministik DE (BWI Model)’den Sağlanan Genlerin Evrimi

Genel olarak, (1) yakınsama davranışı, (2) uygulanabilir çözümler vermesi, (3) genlerdeki değişkenliğin fazlalığı, (4) en iyi çözümü sağlanmasındaki hesaplama avantajı, deterministik DE’nin global yakın-optimal çözüm üretmede oldukça *etkili* olduğunu göstermektedir. Excel ortamında hazırlanan nakit akışı ve finansal performans ölçümleri hesaplamalarına Matlab optimizasyon ortamından karar değişkenleri verileri

gönderilmiştir ve Excel ortamından finansal performans ölçümleri sonuçları okunarak tekrar Matlab ortamına gönderilmiştir. Bu sebeple hesaplama süresi bakımından biraz vakit almaktadır.

#### 5.4.3.2. İmtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerleri

Yakınsama grafiğinde gösterilen (Şekil 19'a bakınız) yakın-optimal BWI uyum değeri deterministik DE'nin (BWI Model) bağımsız 10 defa çalışmasından sonra elde edilmiştir. BWI uyum değeri bakımından en iyi çalışmanın sonuçlarını Tablo 10'da gösterilmektedir. DE'nin, rastgele oluşturulmuş olan ilk popülasyonun farklı değerleri ile başladığı unutulmamalıdır. Ayrıca, farklı çalıştırmalardan elde edilen BWI uyum değerlerindeki yakınlık deterministik DE'nin (BWI Model) sağlamlığını kuvvetle kanıtlar; farklı tohum sayıları BWI uyum değerlerindeki anlamlı farklılıklara neden olmamıştır.

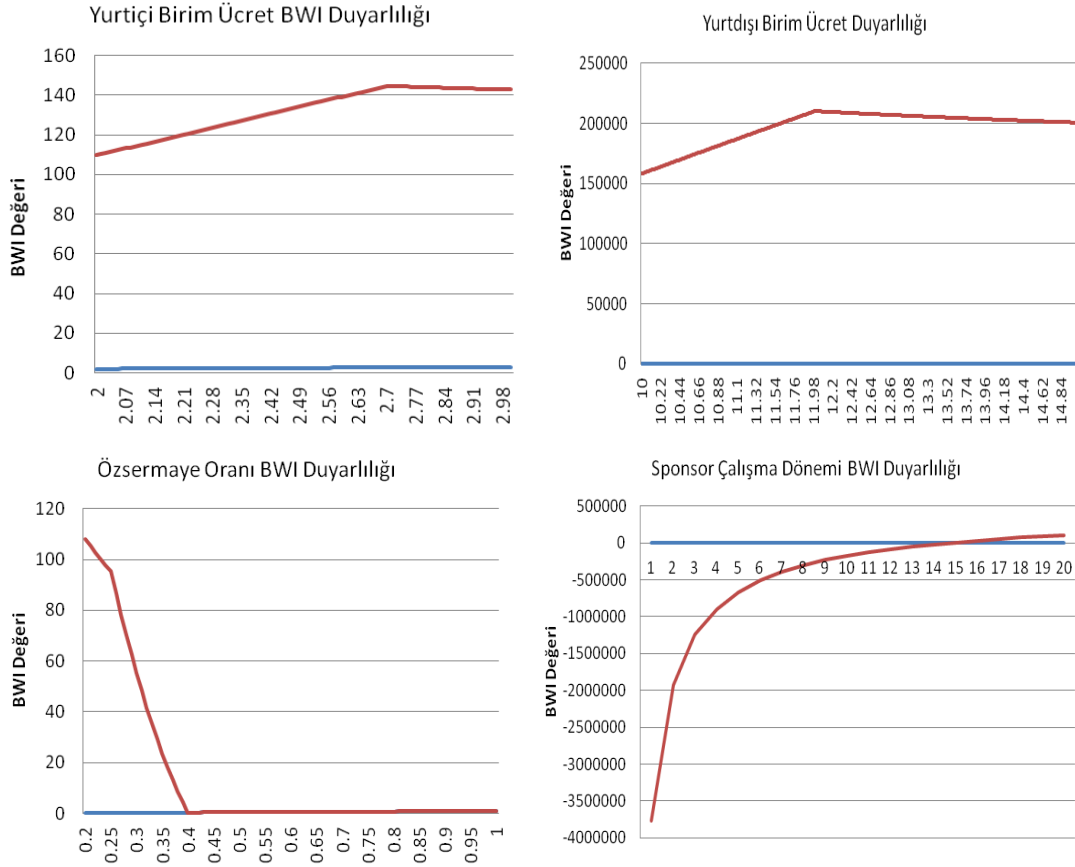
Tablo 10. Deterministik DE (BWI)'den Elde Edilen Sonuçlar

Karar Değişkenleri ve DE(BWI) Uyumluluk Değerleri	Değerler
Sponsor Çalışma Dönemi, SOP(yıl)	25
Yurtiçi Birim Ücret, Pi(€)	2.09
Yurtdışı Birim Ücret, Pd(€)	12
Özsermaye Seviyesi	0.25
BWI Uyumluluk Değeri	2.0094

Tablo 10'daki imtiyazlı öğelerin değerleri sponsorların kârlılığının üst sınırı %15 alınarak hesaplanmıştır. 10. Tablo iki önemli gözlemi resmeder. İlki, imtiyazlı öğelerin değerlerinin % 15.00 kârlılık altında makul bir anlaşma olduğunu belirtir. İkincisi ve en önemlisi, Tablo 10 deterministik DE (BWI Model) yoluyla sağlanan imtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerlerinin sponsorlar için zamanla daha fazla tercih edildiğini gösterir. İmtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerleri topluca hükümet kuruluşuna rekabetçi ve finansal açıdan avantajlı bir teklif sunulmasında sponsorlara yardımcı olur. Deterministik DE (BWI Model) aynı zamanda sponsor çalışma süresinin ve birim fiyatlarının en düşük değerini belirler. Sponsorlar bu değerleri kullanarak %15.00 oranında kâr sağlayarak daha rekabetçi bir finansal teklif sunabilirler.

## 5.5. Karar Değişkenlerinin Duyarlılığı

Her bir karar değişkeninin diğer karar değişkenleri sabit tutularak bir birim artırılmasıyla BWI'deki değişim raporlanmıştır.



Şekil 22. BWI'nin Karar Değişkenlerine Duyarlılığı

Yukarıdaki Şekil 22'de karar değişkenlerinin BWI'yi etkileme dereceleri gösterilmiştir. Yurtiçi birim ücret tarifesi değeri, taban değeri 2 €'dan bir birim artırılarak 3 €'a kadar arttırılmıştır ve elde edilen BWI değerleri raporlanmıştır. Eşik değeri olan 2.7 € değerine kadar BWI artarken, yurtiçi birim ücret tarifesinin daha da arttırılması ihale kazanma indeksini düşürmüştür. Fakat eşik değerinden sonraki azalış hızı, eşik değerinden önceki artış hızından daha yavaş olmuştur.

Yurtdışı birim ücret tarifesi değeri, 10 €'dan 15€'a kadar bir birim arttırılarak elde edilen BWI değerleri raporlanmıştır. Eşik değeri 12 € kadar ilerletildiğinde BWI artarken eşik değerinden sonra BWI değeri düşmeye başlamıştır.

Sponsor çalışma dönemi 0-49 yıl arasında arttırılmıştır. BWI değeri 15 yıldan sonra pozitif olmuştur. BWI değeri 15 yıla kadar hızlı bir artış gösterirken kara geçiş yılı olarak 15 yıldan sonra sponsor çalışma döneminin daha da arttırılması BWI indeks üzerinde büyük artışlara neden olmamıştır.

Özsermaye oranı 0.20 ile 0.40 belirlenen sınırlar içinde kademeli olarak arttırılmıştır. BWI değerleri raporlanmıştır. Özsermaye oranının %20'den %25'e kadar arttırılması BWI değerini düşürmüştür. %25'ten daha fazla arttırılması BWI değerini daha fazla bir eğimle azaltmıştır.

Yapılan duyarlılık analiziyle optimizasyon modelinden elde edilen sonuçların tutarlılığı gösterilmiş olmaktadır.

### **5.6. Belirsiz Yatırım Ortamında YİD Projesinin Değerlendirilmesi**

Proje değerlendirme sürecinde, projelerin yapılabilirlikleri net bugünkü değerlerine bakılarak belirlenmektedir. Belirsizlik ve riskin yüksek olduğu ortamlarda, projeye ait yapım maliyetleri, iskonto oranı, talep miktarı gibi parametreler, projenin yaşam döngüsü boyunca değişmektedir. Her bir parametrenin, tek bir değer yerine bir değerler kümesi şeklinde belirlenmesi sonucu, parametrelerin olası tüm kombinasyonları için farklı NPV'ler elde edilmiş olacaktır. Sonuç olarak tek bir projeye ait hesaplanan bu NPV'lerin değişim aralığı yani değişkenliği ne kadar az ise, o proje o kadar risksiz olacaktır. Dolayısıyla, bir projenin risk düzeyinin sayısal olarak ölçülmesi için projenin NPV'sinin değişkenliği belirlenmelidir.

İzleyen kısımda yer alan örnekte simülasyon modelinin çalıştırılması sonucunda proje önerisi için, tekrar sayısı kadar olası NPV elde edilmiş olacaktır. Buradan projenin beklenen NPV'si, NPV'nin dağılımı, beklenen kârlılığın hangi değerler arasında olacağı hesaplanır. Daha sonra beklenen kârlılık değerine, beklenen kârlılık için bulunan güven aralığına ve histograma bakılarak projenin risk düzeyi hakkında bir sonuca ulaşılır. Örneğin beklenen kârlılık değeri negatif olan projeler kesin olarak çok riskli projeler olarak tanımlanır ve kâr amacı güden şirketler açısından bu kabul edilemez. Projenin beklenen kârlılığı pozitif ancak bulunan güven aralığı sıfır değeri içeriyorsa projenin orta-yüksek riskli projeler sınıfına girdiğini söylemek mümkündür. Eğer projenin beklenen kârlılık değeri pozitif ve beklenen kârlılık için bulunan güven aralığının alt ve

üst sınır değeri de pozitif ise bu proje düşük riskli proje olarak adlandırılır. Bu süreç sonunda projenin düşük riskli bir proje olduğu sonucuna ulaşırsa, proje reddedilmez.

### 5.6.1. Simülasyon yöntemiyle projenin yapılabilirlik analizi

Havaalanı YİD projesi için belirsizliklerin varlığında, YİD projesinin yapılabilirliğini incelemek için Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır. Kısım 5.1.1'deki, 6. ve 7. Tablolardaki yatırım elemanları ve finansal parametreler kullanılmıştır. Belirsiz yatırım elemanları aşağıda verilmiştir. Belirsiz kritik proje parametreleri ise yatırım maliyeti, taban talepler, iskonto oranı, ve kredi faiz oranı belirlenmiştir. Aşağıdaki tablolarda belirsiz parametrelerin alması muhtemel değerleri, olasılık dağılımları verilmiştir. Veriler, Excel ortamına girilerek simülasyon modeli uygulanmıştır.

Tablo 11. Belirsiz Proje Parametreleri

Toplam Yatırım Maliyeti Tablosu					
(TC) Yatırım Tutarı (€)	Olasılık	Birikimli Olasılık	Monte Carlo Sayılar		
(316.451.463)	15%	15%	0	-	15
(432.183.902)	20%	35%	16	-	35
(438.276.878)	35%	70%	36	-	70
(442.823.365)	25%	95%	71	-	95
(461.009.317)	5%	100%	96	-	100

Sermaye Maliyeti Tablosu					
(R) Sermaye Maliyeti	Olasılık	Birikimli Olasılık	Monte Carlo Sayılar		
0.12	15%	15%	0	-	15
0.117	20%	35%	16	-	35
0.108	25%	60%	36	-	60
0.105	25%	85%	61	-	85
0.1	15%	100%	86	-	100

Kredi Faiz Oranı Tablosu					
Kredi faiz oranı (%)	Olasılık	Birikimli Olasılık		Monte Carlo Sayılar	
0.065	5%	5%	0	-	5
0.07	25%	30%	6	-	30
0.075	35%	65%	31	-	65
0.08	20%	85%	66	-	85
0.085	15%	100%	86	-	100

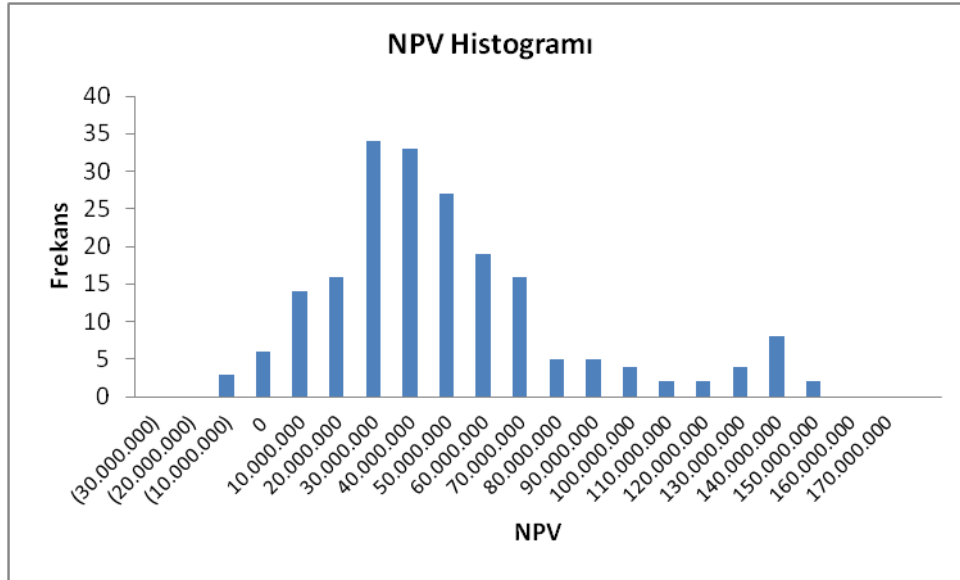
Taban Talep Tablosu (Yurtiçi 1. 6 aylık)					
Taban Talep (kişi)	Olasılık	Birikimli Olasılık		Monte Carlo Sayılar	
1.464.971	5%	5%	0	-	5
1.495.226	8%	13%	6	-	13
1.512.742	18%	31%	14	-	31
1.560.512	30%	61%	32	-	61
1.572.360	15%	76%	62	-	76
1.586.500	14%	90%	77	-	90
1.627.201	10%	100%	91	-	100

Taban Talep Tablosu (Yurtiçi 2. 6 aylık)					
Taban Talep (kişi)	Olasılık	Birikimli Olasılık		Monte Carlo Sayılar	
1.379.955	15%	15%	0	-	15
1.423.532	17%	32%	16	-	32
1.452.584	25%	57%	33	-	57
1.501.972	23%	80%	58	-	80
1.520.855	20%	100%	81	-	100

Taban Tablosu (Yurtdışı 1. 6 aylık)					
Taban Talep (kişi)	Olasılık	Birikimli Olasılık		Monte Carlo Sayılar	
404.384	5%	5%	0	-	5
409.121	15%	20%	6	-	20
422.041	20%	40%	21	-	40
430.654	25%	65%	41	-	65
438.296	20%	85%	66	-	85
450.895	10%	95%	86	-	95
452.187	5%	100%	96	-	100

Taban Talep Tablosu (Yurtdışı 2. 6 aylık)					
Taban Talep	Olasılık	Birikimli Olasılık		Monte Carlo Sayılar	
345.060	7%	7%	0	-	7
349.102	10%	17%	8	-	17
360.127	18%	35%	18	-	35
367.476	30%	65%	36	-	65
379.970	15%	80%	66	-	80
384.748	12%	92%	81	-	92
385.850	8%	100%	93	-	100

Her bir belirsiz parametre için parametre değerlerinin olasılık dağılımı belirlenir ve birikimli olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanır. Monte Carlo sayılar belirlendikten sonra uniform dağılım gösteren rasgele sayılar üretilir ve üretilen rasgele sayı hangi montecarlo sayı aralığına giriyorsa karşılığindeki değer o parametrenin değeri olarak alınır. Bu şekilde tüm belirsiz parametreler için rasgele sayılar üretilir. Model 200 defa çalıştırılmıştır ve elde edilen farklı NPV'lerin dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Karar değişkenlerimiz; özsermaye düzeyi 0.20, yurtiçi ve yurtdışı birim ücret tarifeleri 2 ve 10 €, sponsor çalışma dönemi 20 yıl üzerinden hesap edilmiştir.

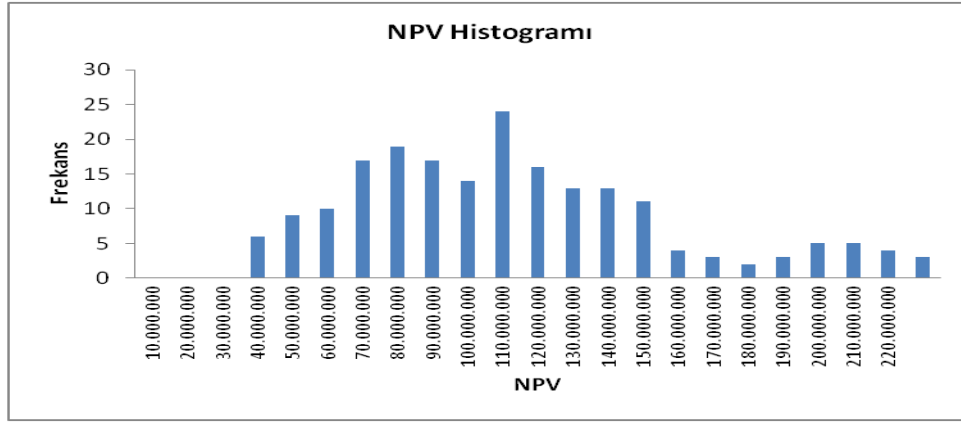


Şekil 23. Simulasyonla NPV Dağılımı

NPV'nin beklenen değeri, 45.002.256€ ve Std.Sapması 34.657.849€ olarak hesap edilmiştir. NPV'nin standart sapmasının beklenen değerine yakın olması projenin risk

içeren bir proje olduğunu göstermektedir. Hesaplanan değerlerin, histogramın pozitif kısmında yığılması sebebiyle projenin düşük riskli bir proje olduğunu söylemek mümkündür. Projenin düşük riskli olması sebebiyle proje önerisi ile ilgili olarak yatırım kararı verilebilir. 0.95 güven düzeyinde projenin NPV'si 40.199.011€ ile 49.805.500€ arasında olacaktır. Projenin beklenen kârlılığı ve 0.95 güven düzeyindeki kârlılık aralıklarının hepsi pozitifdir.

Ele alınan YİD projesi sponsorlar için belirsizliklerin varlığında dahi oldukça kârlı bir yatırımdır. BWI optimizasyonundan elde edilen imtiyazlı öğelerin değerlerini modele işleyip, NPV'nin dağılımını hesapladığımızda sonuç değişmemektedir. Belirsiz yatırım ortamında dahi proje önerisi hala sponsorlar için kârlı olmaya devam etmektedir. (bakınız Şekil 24)



Şekil 24. BWI'den Elde Edilen Değerlerle NPV Dağılımı

### 5.7. Senaryo Analizi

Deterministik yatırım ortamında farklı senaryolar kurularak YİD havaalanı projesinin ihale kazanma potansiyelini değerlendirmek ve yöneticilerin karar verme olanaklarını genişletmek amacıyla senaryo analizi yapılmıştır. Projenin karlılığının üst sınırı sırasıyla %13, %15 ve %17 olarak farklı IRR oranları seçilmiştir. Özsermaye seviyesi için sırasıyla 0.20, 0.25, 0.30 ve 0.40 olmak üzere özsermaye seviyesinin en düşük, en yüksek ve iki farklı ortalama değeri alınmıştır. İmtiyaz süresi için ise, 15, 20, 25 ve 35 yıl seçilmiştir. Bu değerler YİD proje ihalesinin kazanılması için imtiyaz süresinin belirlenebilecek en düşük, en yüksek ve ortalama değerleridir. 35 yıldan daha fazla imtiyaz süresi, sözleşmenin kaybedilmesi riskini büyük olasılıkla taşıdığı için üst

sınır 35 yıl alınmıştır. Belirlenen bu değerler, ihale kazanma optimizasyon modelinde girdi parametreleri olarak değerlendirilmiştir. Bunlara bağlı olarak en yakın optimal yurtiçi birim ücret tarifesi ve yurtdışı birim ücret tarifesi değerleri elde edilmiştir ve en iyi BWI değerleri ilerleyen sayfalardaki Tablo 13’de raporlanmıştır. Modelleri optimize etme aracı olarak daha önceki kısımlarda detaylarıyla açıklanan komşuluk tabanlı DE algoritması kullanılmıştır. Komşuluk tabanlı DE algoritması için seçilen parametreler Tablo 12’de gösterilmiştir.

*Tablo 12. Senaryo Analizi İçin DE Algoritması Parametreleri*

Diferansiyel Evrim Algoritması Parametreleri	Değer
Popülasyon Büyüklüğü, N	20
Ölçekleme Faktörü, F	0,5
Çaprazlama Olasılığı, Cr	0,5
Komşuluk Büyüklüğü, T	10
Komşuluktan seçilen ebeveyn çözümlerin olasılığı, $\delta$	0.1
Yavru çözümlerle yer değiştirecek çözümlerin maksimum miktarı, $n_r$	1
Ceza katsayısı, $P_{coeff}$	$10^{20}$
Maksimum nesil sayısı, G	50

Komşuluk tabanlı DE algoritmasının yakınsama davranışı önceki bölümlerde incelenmiştir. Algoritma 4 karar değişkenli bir durumda bile erken nesillerde optimuma yakın sonuçlar vermektedir. Bu sebeple burada kurulacak senaryolar için nesil sayısı 50 yeterli bulunmuştur. Çünkü karar değişkenlerinin sayısı 2’ye düşmüştür. İmtiyaz süresi ve özsermaye düzeyi parametreler olarak modele dâhil edilmiştir. Bu bağlamda başlangıç popülasyon büyüklüğü 20 olarak belirlenmiştir. Komşuluk ölçüsü “T”, 10 alınmıştır. Bunun anlamı, yavru kromozom ona komşu 10 adet ebeveyn kromozomla kıyaslanacak demektir. “ $n_r$ ” faktörü 1 seçilerek, yavru kromozomla kıyaslanan 10 ebeveyn kromozom arasından, uygunluk değeri ebeveynden yüksek yavru, en yakın sadece 1 tane ebeveynle yer değişimi gerçekleştirebilir. “ $\delta$ ” faktörü için seçilen 0.1 değeri, mutasyon için seçilecek kromozomların %90 olasılıkla tüm popülasyondan seçilmesi %10 olasılıkla komşuluktan seçilmesi anlamına gelmektedir. Ceza katsayısı  $10^{20}$  gibi yüksek bir değer seçilerek IRR nin üst sınırını aşması kesinlikle engellenmiştir. Toplamda 48 farklı senaryo geliştirilerek aşağıdaki Tablo 13 elde edilmiştir.

Tablo 13. Senaryo Analizi

IRRüst	Özsermaye (%)	SOP (yıl)	Y.İçi ücret (€)	Y.dışı ücret (€)	BWI	IRR	Uygun Çözüm
%13	0.2	15	2.7	13.58	83.36	13.00%	
	0.25	15	2.83	15	80.07	13.00%	
	0.3	15	3	15	55.77	12.50%	Atıl
	0.4	15	3	15	18.34	11.33%	Atıl
	0.2	20	2	10		13.48%	Yok
	0.25	20	2	10.4	103.93	13.00%	
	0.3	20	2	12	95.35	13.00%	
	0.4	20	2.7	12.91	55.56	13.00%	
	0.2	25	2	10		14.88%	Yok
	0.25	25	2	10		14.27%	Yok
	0.3	25	2	10		13.74%	Yok
	0.4	25	2	10.53	12.26	13.00%	
	0.2	35	2	10		15.75%	Yok
	0.25	35	2	10		15.18%	Yok
	0.3	35	2	10		14.68%	Yok
	0.4	35	2	10		13.85%	Yok
%15	0.2	15	3	15	95.23	14.10%	Atıl
	0.25	15	3	15	81.94	13.23%	Atıl
	0.3	15	3	15	55.77	12.50%	Atıl
	0.4	15	3	15	18.34	11.33%	Atıl
	0.2	20	2.56	12	175	15.00%	
	0.25	20	2.7	13.68	166.34	15.00%	
	0.3	20	2.7	15	126.19	14.74%	Atıl
	0.4	20	3	15	56.69	13.88%	Atıl
	0.2	25	2	10.35	167.42	15.00%	
	0.25	25	2.09	12	200.94	15.00%	
	0.3	25	2.69	11.99	167.51	15.00%	
	0.4	25	2.7	12	80.38	13.99%	Atıl
	0.2	35	2	10		15.75%	Yok
	0.25	35	2	10		15.18%	Yok
	0.3	35	2	11.25	141.71	15.00%	
	0.4	35	2.7	12	90.84	12.84%	Atıl
%17	0.2	15	3	15	95.23	14.10%	Atıl
	0.25	15	3	15	81.94	13.23%	Atıl
	0.3	15	3	15	55.77	12.50%	Atıl
	0.4	15	3	15	18.34	11.33%	Atıl
	0.2	20	2.7	12	179.84	15.17%	Atıl
	0.25	20	2.7	12	165.88	14.42%	Atıl
	0.3	20	2.7	12	123.43	13.78%	Atıl
	0.4	20	3	15	56.69	13.88%	Atıl
	0.2	25	2.7	12	228.78	16.34%	Atıl
	0.25	25	2.7	12	217.52	15.62%	Atıl
	0.3	25	2.7	12	167.59	15.00%	Atıl
	0.4	25	2.7	12	80.38	13.99%	Atıl
	0.2	35	2.66	11.99	239.12	17.00%	
	0.25	35	2.7	12	231.75	16.36%	Atıl
	0.3	35	2.7	12	181.74	15.78%	Atıl
	0.4	35	2.7	12	90.84	14.84%	Atıl

Tablo 13'deki sonuçlar incelendiğinde bazı senaryolar tam kapasitede gerçekleşirken bazılarında atıl kapasite kalmaktadır. IRR üst limitini tam

sağlayamamıştır. Bazı senaryolarda ise uygun bir çözüm bulunamamıştır. Yapılan senaryo analizi, planlanan ösermaye düzeyi ve imtiyaz süresi karşılığında yurtiçi birim ücret ve yurtdışı birim ücret tarifelerinin ne olması gerektiği konusunda karar alıcılarına fikir verme açısından yardımcı olacaktır. Atıl kapasitenin söz konusu olması, ihale kazanma indeksi (BWI) ile ilgilidir. Çünkü amaç NPV'yi ençoklamak değil, BWI'nin maksimizasyonudur.

## 6. YİD Yatırım Projesinin Borç Bulma Potansiyelinin Maksimizasyonu

Bu bölümde YİD ihalesi kapsamında proje sponsorlarının borç bulma potansiyelini maksimize etmek için imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerini tanımlamak amacıyla tek amaçlı optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bunu yaparken, öncelikle proje sponsorlarının borç bulma potansiyelini ölçmek için borç servisi yönünden finansal performans ölçümünü sunulmuştur. Daha sonra, sponsorların finansal çıkarlarını dikkate alan optimizasyon probleminin formüle edilmesi gösterilmiştir. Önerilen optimizasyon problemi komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritması ile çözümlenmiştir. Son olarak sponsorların bakış açılarından deterministik yatırım ortamındaki bir YİD projesinin ihale hedeflerine ulaşmada geliştirilen modelin kapasitesi sunulmuştur.

### 6.1. Problemin Optimizasyon Problemi Haline Dönüştürülmesi

YİD projeleri büyük yatırımlardır ve sponsorların en önemli sorunlarından biri ödünç para bulmaktır. Ödünç para verenin hedefi ise kredi riskini en aza indirmek veya borcun geri ödemesini kolaylaştırmaktır bundan dolayı, kredi risklerini azaltan yüksek borç servis karşılama oranı (nakit akışı/borç (DSCR)) gereklidir. Projeden elde edilecek gelirin projenin borç servisini karşılamaya yetecek düzeyde olması gerekir<sup>251</sup>.

Öz sermaye düzeyi önemli ölçüde projelerin borç hizmet kapasitesini etkiler. Diğer şartlar aynıysa, öz sermaye arttığında borç yükümlülüğü düşer. Aslında, borç veren açısından yüksek seviyeli öz sermaye daha düşük riski temsil eder<sup>252</sup>. Ayrıca, borç verenler sponsorların aktif katılımlarıyla da ilgilenirler. Borç verenler yüksek seviyeli öz sermayenin sponsorların “mülkiyet” düşüncelerini arttıracığına ve projenin başarılı olarak tamamlanması için sponsorların daha arzulu olacağına inanırlar<sup>253</sup>. Daha da önemlisi, ikinci bölümde sözedildiği gibi, proje finansman modelinde, proje şirketini kuran sponsorlar, olası bir iflas ya da kayıpla karşılaştıklarında, sponsorların varlıklarıyla değil kurulan ortak girişim şirketinin varlıklarıyla bu borcu ödemekle yükümlüdürler. Kredi kurumları için bu durum büyük risk içermektedir. Bundan

<sup>251</sup> Ersönmez (1995), s. 31.

<sup>252</sup> Ranasinghe (1999), s. 613-623.

<sup>253</sup> Zhang (2005), s. 656-668.

dolayı, uygun dengedeki öz sermaye ve borç miktarı, kilit ortakların farklı finansal perspektiflerini geliştirmek için gereklidir.

Denklem 4.19’da ifade edildiği gibi, ortalama borç servisi karşılama oranı (DSCR), yıllık toplam borcun yıllık kullanılabilir nakite (vergilerden sonra) oranı olarak tanımlanmıştır. Sponsorlar, DSCR’nin en iyi değerini, özsermayenin en yüksek seviyesinin tutulmasıyla başarabilirler. Buradaki aşarştırma sorusu “daha az özsermaye koyarak projenin borç servisi kapasitesi nasıl arttırılabilir?” konusyla ilgilidir. DSCR’nin en iyi değerine, belirli bir kâr marjı altında (ör., IRR) özsermaye seviyesini de kapsayan imtiyazlı öğelerin değerlerinin kombinasyonlarının biri üzerinden ulaşılabilir. Basit bir finansal performans ölçümü olan *borç bulma indeksi* kullanılmıştır. Bu finansal performans ölçümü, özsermaye artırımını gibi limitli finansal kaynakların hesaba katılmasıyla projenin borç karşılama kapasitesinin ölçülmesinde sponsorlara yardım eder. Borç bulma indeksi (LAI), ortalama borç servisi karşılama oranının ( $DSCR_{avg}$ ) (borç geri ödeme dönemindeki) özsermaye yararlılığıyla çarpılması olarak tanımlanır. Sponsorlar bir yandan borç bulmak için yüksek özsermayeye gereksinim duyarken bir yandan da özsermaye maliyetine katlanmak zorunda olduklarından, özsermaye yararlılığı modele dâhil edilir. Minimum düzeydeki özsermaye maksimum (1) yarar sağlar ve özsermayenin giderek arttırılması yararlılığını azaltır. Sponsorların bakış açılarından yüksek bir LAI indeksi değeri borç bulma ihtimali için daha iyidir.

## 6.2. Optimizasyon Problemi

### 6.2.1. Amaç fonksiyonu

Bir YİD projesi için borç bulma indeksinin (LAI) maksimizasyonu hedeflenen optimizasyon modelinin amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu denklem (6.1)’de tanımlanmaktadır.

$$MAX LAI = DSCR_{avg} * U_{\epsilon} \quad (6.1)$$

$U_{\epsilon}$  = Özsermaye seviyesinin yararlılığıdır (bölüm 5.2’ye bakınız ).

### 6.2.2. Kısıtlamalar

Amaç fonksiyonu çalışmanın beşinci bölümünde (5.1)-(5.10) denklemlerinde ifade edilen sponsorların finansal kısıtlamalarına sahiptir. Fakat borç servisiyle ilgili kısıtlama (bakınız denklem 5.9) burada serbest bırakılmıştır çünkü denklem (6.1) ortalama DSCR'nin maksimizasyonunu amaçlar. Aşağıdaki denklemler (6.2)-(6.6), LAI indeksinin optimizasyonu ile ilgili model kısıtlamalarını özetler.

$$NPV^S \geq 0 \quad (6.2)$$

$$NCF_{j+1}^S \geq 0 \quad (6.3)$$

$$IRR^S \leq IRR_U^S \quad (6.4)$$

$$NPV^G \geq 0 \quad (6.5)$$

$$OP_{max} \geq SOP \geq OP_{min}, \quad P_{0max} \geq P_0 \geq P_{0min}, \quad \epsilon_{max} \geq \epsilon \geq \epsilon_{min} \quad (6.6)$$

### 6.3. Optimizasyon Probleminin Çözümü

#### 6.3.1. Çözüm yöntemi

Referans problem ilerleyen kısımlarda tek amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Beşinci bölümde sunulan optimizasyon problemine benzerdir. Amaçlanan optimizasyon problemi karışık tamsayı optimizasyon problemidir ve benzer kısıtlamalar setine sahiptir. Bu sebeple amaçlanan optimizasyon probleminin çözümü için beşinci bölümde sunulan deterministik yatırım ortamı altında ihale kazanma potansiyelini maksimize eden deterministik DE (BWI model)'de kullandığımız algoritma modifiye edilmiştir. Deterministik DE modelde gerekli görülen modifiye alanı uyum fonksiyonunun dahil edilmesidir ve bazı kısıtlamaların çıkarılmasıdır. Çalışmanın beşinci bölümünde kısıtlamaların anlamları ayrıntılarıyla ifade edilmektedir. Kısıtlamaların varlığında yeni amaç fonksiyonumuz aşağıdaki gibi birleştirilir.

$$MAXLAI = DSCR_{avg} * U_{\epsilon} - P(x) \quad (6.7)$$

$$P(x) = \sum_{i=1}^m (r_i * g_i^2(x)) \quad (6.8)$$

### 6.3.2. Sayısal örnek

Beşinci bölümün 5.4.2 kısmında bir YİD projesi havaalanı projesi örneği ele alınmıştır. Sponsorların borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi ve sonuçların adil bir karşılaştırılmasının yapılabilmesi için aynı projeden yararlanılmıştır. Çünkü sponsorların birbiriyle çelişen iki farklı ihale amacı vardır, LAI'nin maksimize edilmesi ve BWI'nin maksimize edilmesi gerekmektedir.

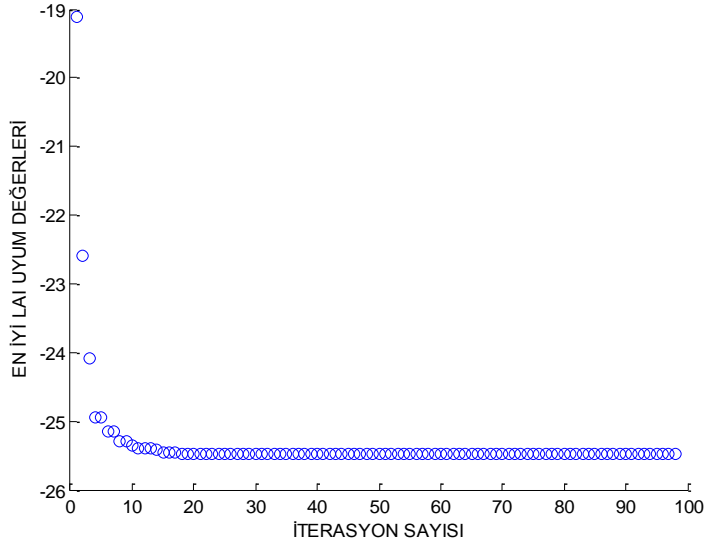
Tablo 6.'da sunulan yatırım verileri, amaçlanan optimizasyon için model girdileri olarak alınmıştır. DE uygulaması için gereken giriş parametreleri, beşinci bölümdeki Tablo 9'da gösterildiği gibi ele alınmıştır.

### 6.3.3. Model sonuçlarının analizi

Deterministik DE (LAI model)'den elde edilen sonuçlar, iki aşamada analiz edilmiştir. İlk olarak, deterministik (LAI) modelden elde edilen LAI uyum değerlerinin (bakınız denklem 6.7) yakınsaması gösterilmiştir. İkinci olarak LAI uyum değerlerini maksimize eden imtiyazlı öğelerin yakın optimal değerleri tasvir edilmiştir.

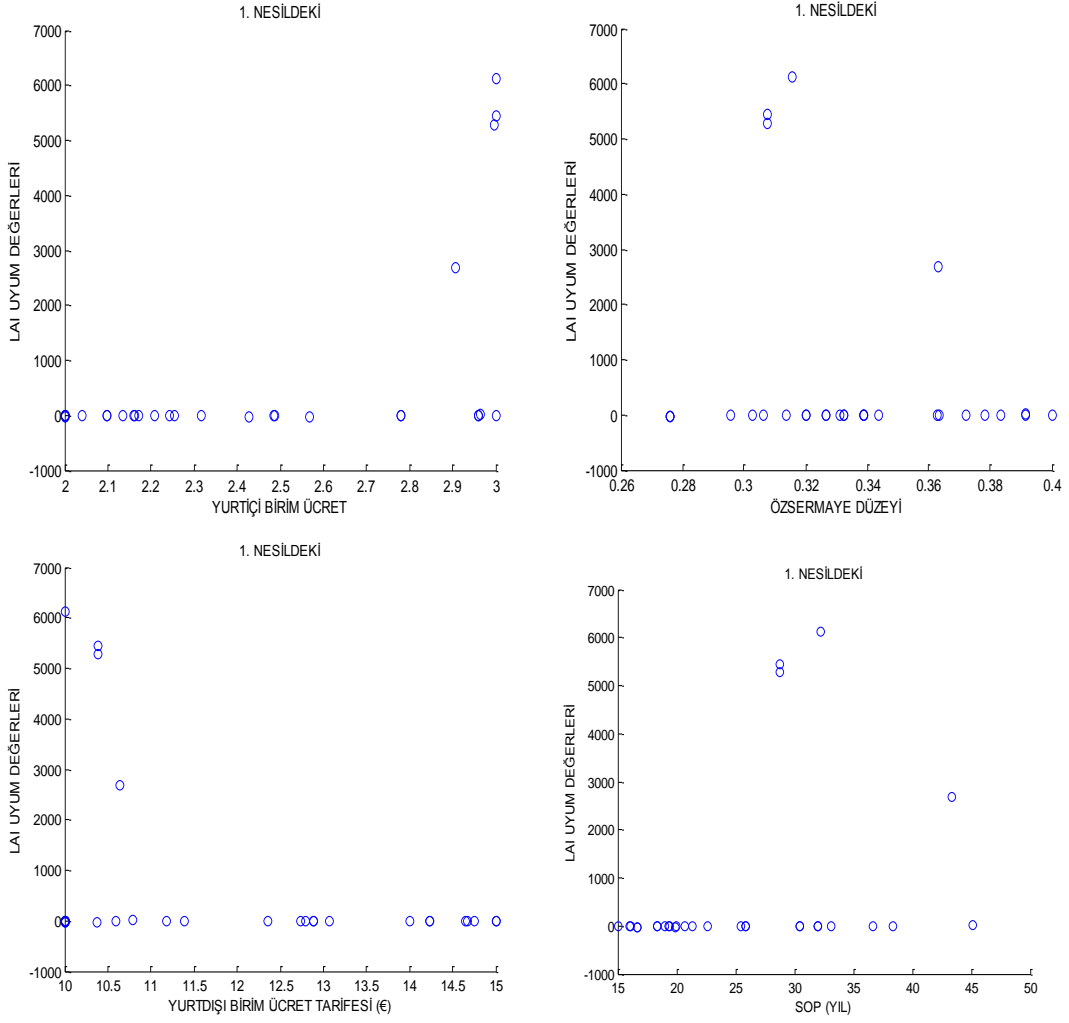
#### 6.3.3.1. Deterministik DE (LAI Model) yakınsaması

İlgili nesil numaralarına karşılık gelen mevcut en iyi LAI uyum değerlerinin grafiği aşağıdaki Şekil 25'te gösterilmiştir. Şekil 25 incelendiğinde, Deterministik DE (LAI model)'in ilk nesillerindeki mevcut en iyi LAI uyum değerlerindeki iyileşme yüksektir, ilk nesilden 20. nesile kadar olan bölümde bu durum görülmektedir. İlerleyen nesillerde bu gibi iyileşmeler küçülür. Sonuç olarak, çözüm iyileştirilemez limitine gelerek mevcut en iyi LAI uyum değeri 50. nesilden sonra yakınsamıştır. Deterministik DE (LAI) modelden elde edilen mevcut en iyi LAI uyum değerlerinin yakınsaması Şekil 25'te gösterilmiş olmaktadır.

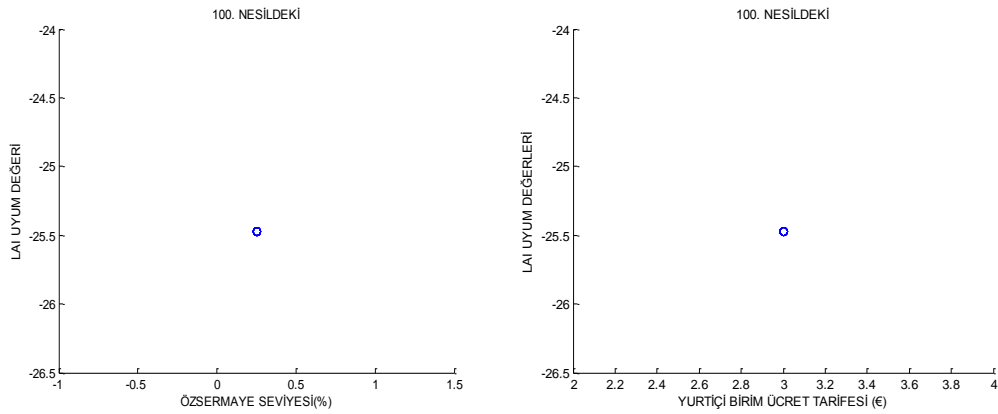


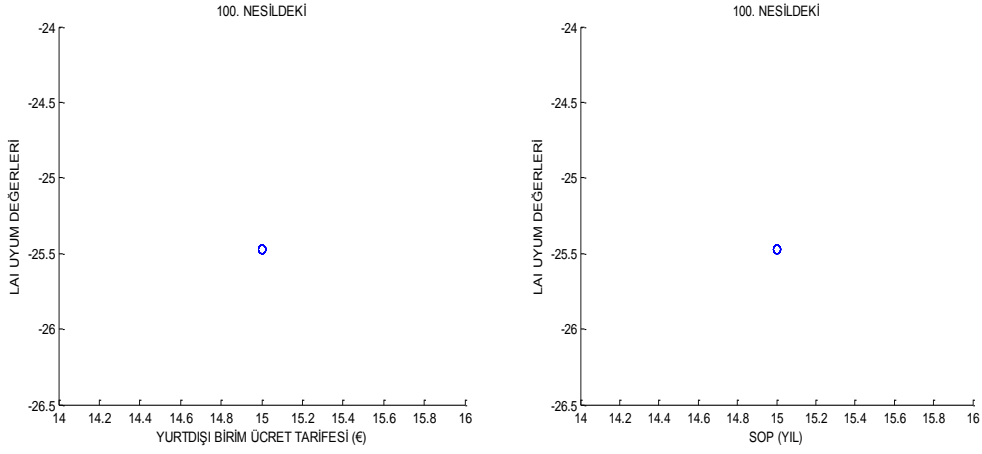
Şekil 25. Mevcut En İyi LAI Uyum Değerinin Gelişim Profili

Aşağıdaki Şekil 26 ve 27, 1. nesildeki ve 100'üncü nesildeki her genin değerine karşılık gelen LAI uyum değerlerinin nokta dağılımlarını gösterir. Şekil 26 ve 27 ile, belirli bir popülasyonun genlerinin (karar değişkenlerinin) hareketleri bakımından deterministik DE (LAI) modelinin yakınsama davranışını daha fazla örneklendirilmiştir. Amaç fonksiyonumuz maksimizasyon problemidir fakat çözüm algoritması minimizasyon problemleri için tasarlandığından amaç fonksiyonu -1 ile çarpılmıştır. Bu sebeple negatif uygunluklar maksimum olarak değerlendirilmelidir. Şekil 26'da gösterildiği gibi ilk popülasyondaki genler random olarak üretilmişlerdir ve farklı LAI uyum değerlerine neden olurlar. Aksine son popülasyondaki genler sık bir şekilde yoğunlaşmaktadır, hatta tek bir nokta gibi görünmektedir (bakınız Şekil 27), ve Şekil 25'te gösterildiği gibi optimale yakın LAI uyum değerlerinin üretilmesine neden olmaktadır. Bu bulgu, deterministik DE (LAI) modelden elde edilen LAI uyum değerlerinin yakınsamasını pekiştirmektedir. Kısıtlamaları ihlal eden çözümlere ceza stratejisi uygulanmıştır. Bu sebeple, Şekil 26'da gösterildiği gibi başlangıç popülasyonunda pozitif LAI uyum değerleri elde edilmiştir. Diğer taraftan son popülasyondaki bütün çözümlerde, negatif uyum değerleri sergilenmiştir (bakınız Şekil 27). Bu çözümler, yakın-optimal LAI uyum değerlerini sağlamaktadır ve kısıtlamaları tatmin etmiştir.



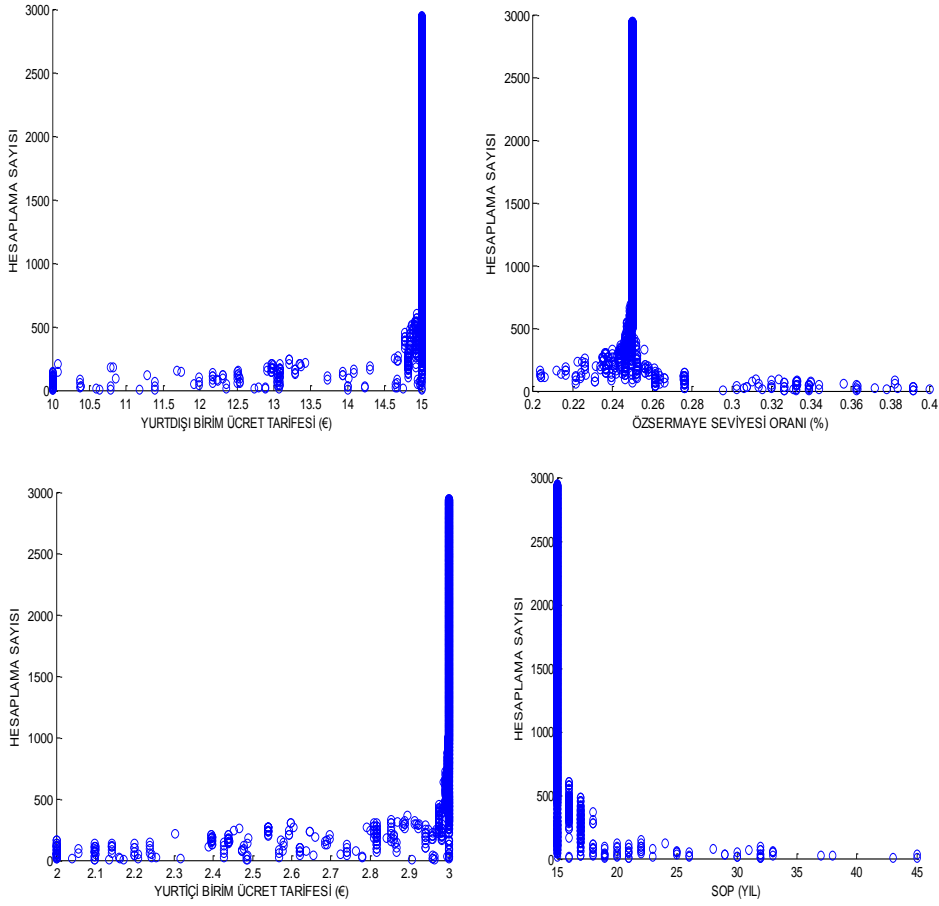
Şekil 26. İlk Nesildeki Karar Değişkenlerinin Değerlerine Karşılık Gelen LAI Uyum Değerlerinin Nokta Dağılımı





*Şekil 27. Son Nesildeki Karar Değişkenlerinin Değerlerine Karşılık Gelen LAI Uyum Değerlerinin Nokta Dağılımı*

Deterministik DE (LAI) modelin her bir nesildeki genlerin evrimleşmesini bir sonraki sayfada gösterilen Şekil 28'den daha net anlayabiliriz. Başlangıçta genler geniş bir şekilde yayılma gösterirken hesaplama sayısı arttıkça optimale yakın değere yakınsamıştır. Şekil 28'de görüldüğü gibi model sonuçlarının istikrarı sağlanmıştır.



Şekil 28. Deterministik DE (LAI Model) 'den Sağlanan Genlerin Evrimi

Şekil 28'de görüldüğü gibi, deterministik LAI modelin ilk nesilden 500. hesaplama sayısına kadar (bu 5. nesile tekabül etmektedir) erken nesillerindeki genlerin şiddetindeki büyük dalgalanmalar, LAI uyum değerleri artışına katkıda bulunur. Aslında 5. nesilden sonra genlerin çok fazla değişmeden kalması mevcut en iyi LAI uyum değerlerinin iyileştirilemez çözüm limitine ulaştığını gösterir. Sonuç olarak, deterministik DE (LAI Model)'in yeniden üretim döngüsü durur.

Genel olarak, (1) yakınsama davranışı, (2) uygulanabilir çözümler, (3) genlerdeki değişkenlik, (4) en iyi çözümün sağlanmasındaki hesaplama avantajı, deterministik DE' nin global yakın-optimal çözüm üretmede oldukça *etkili* olduğunu göstermektedir.

### 6.3.3.2. İmtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerleri

Deterministik DE'nin (LAI Model) bağımsız 3 defa çalıştırılmasından sonra elde edilen yakın-optimal LAI uyum değerleri aşağıdaki Tablo 14'te gösterilmiştir. Bağımsız

3 çalıştırma modelin tutarlılığını sağlamıştır. Burada, bağımsız çalıştırılan 3 numaranın yakın-optimal çözümün sürekliliğini sağladığını dile getirmek dikkat çekicidir, yani, deterministik DE (LAI Model) bağımsız 3 çalışmanın tek bir örneğinde bile yakın-optimal çözümü asla kaçırmaz. Tablo 14, LAI uyum değeri bakımından üç çalışmanın sonuçlarını göstermektedir.

*Tablo 14. Deterministik DE (LAI) 'den Elde Edilen Sonuçlar*

Karar Değişkenleri ve DE(LAI) Uyumluluk Değerleri	Çalıştırma Numaraları		
	Run-1	Run-2	Run-3
Sponsor Çalışma Dönemi, SOP(yıl)	15	15	15
Yurtiçi Birim Ücret, Pi(€)	3	3	3
Yurtdışı Birim Ücret, Pd(€)	15	15	15
Özsermaye Seviyesi,	0.25	0.25	0.25
LAI Uyumluluk Değeri	25.47	25.47	25.47

Tablo 14'te görüldüğü gibi LAI uyum değerlerindeki aylık DE (LAI model)'in robotik olduğunun güçlü bir kanıtı olmaktadır. Farklı tohumlar, LAI uyum değerlerinde varyasyonlara neden olmamaktadır. Tablo 14'teki çalıştırma sonuçları, deterministik yatırım ortamı içindeki imtiyazlı öğelerin optimale yakın LAI uyum değerini verir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde, sponsor çalışma dönemi; en alt sınırdadır, birim ücretler; en yüksek değerlerindedir ve özsermaye; geçiş değerindedir. Belirli bir kar marjı altında sponsorların kredi bulma potansiyelini maksimize etmek için, imtiyazlı öğelerin bu değerleri belirlemeleri gerekmektedir. Bir sonraki kısımda, imtiyazlı öğelerin elde edilen değerlerinin sponsorların bakış açılarından tartışılması yapılacaktır.

#### **6.3.4. Sonuçların karşılaştırılması**

Sponsorların iki farklı ihale amacı altında elde edilen imtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerlerinin karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 15'de sunulmuştur. Tablo 15'deki imtiyazlı öğelerin yakın optimal değerleri, sponsorların %15 üst limitteki kârlılığına karşılık gelen değerlerdir (beşinci bölümde belirtilmiştir).

Tablo 15. DE (BWI) ve DE (LAI)'den Elde Edilen İmtiyazlı Öğelerin Yakın Optimal Değerlerinin Karşılaştırılması

Karar Değişkenleri	Max BWI (1)	Max LAI (2)	Sapma (2)-(1)
Sponsor Çalışma Dönemi, SOP(yıl)	25	15	7 yıl
Yurtiçi Birim Ücret, Pi(€)	2.09	3	0.91 €
Yurtdışı Birim Ücret, Pd(€)	12	15	3 €
Özsermaye Seviyesi,	0.25001	0.25	0.001
BWI Uyumluluk Değeri	200.94	25.47	

LAI amacına göre, karar değişkenlerinin sınır değerlerinde çıkmasının sebebi, onları kısıtlayan bir durumun olmamasıdır. Proje oldukça karlı bir yatırımdır. Şöyle ki, sponsor çalışma dönemi azaldıkça DSCR oranı yükselir. Bu da borç bulmak için minimum sponsor çalışma süresinin bulunmasını sağlar. Özsermaye oranı yükseldikçe, borç servisi oranı yükselir, eğer bu oran hali hazırda yüksekse özsermayenin yükseltilmesi gerekmemektedir. Bu noktada, sponsorların borç bulma konusunda sıkıntı yaşamayacakları aşikârdır. Bu sebepten tek başına LAI değerlerini kullanmak anlamsız olacaktır. Tablo 15’de görüldüğü gibi, Max BWI’i sağlayan imtiyazlı öğelerin değerleri ile max LAI’yi sağlayan imtiyazlı öğelerin değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Amaçların her ikisini de makul bir şekilde sağlayan imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini bulmak için çok amaçlı optimizasyon problemi geliştirilmelidir. Çalışmanın yedinci bölümünde bu konu tartışılacaktır.

## 7. İhale Kazanma ve Borç Bulma Potansiyelinin Birlikte Maksimize Edilmesi

Bu bölümde, bir YİD projesinin ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin birlikte maksimize edilmesini amaçlayan çok amaçlı optimizasyon modelinin geliştirilmesi gösterilmektedir. Başlangıç olarak proje sponsorlarının pratik ihtiyacı olarak çok amaçlı optimizasyon problemi konusu ele alınmıştır. İhale aşamasındaki bir YİD projesinin, sponsorların bakış açısından hedeflenen çok amaçlı optimizasyon problemi sunulmuştur. İzleyen kısımlarda, dördüncü bölümdeki kısım 4.2.5'te açıklanan ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı Diferansiyel Evrim algoritmasının (MOEA/D-DE) çözüm adımları gösterilmiştir ve ihale aşamasındaki bir YİD projesi için sayısal bir örnek doğrultusunda geliştirilen ayrıştırmaya dayalı DE algoritmasının kullanılabilirliği detaylandırılmıştır.

### 7.1. Çok Amaçlı Problemin Formüle Edilmesi İhtiyacı

Çalışmanın beşinci ve altıncı bölümlerinde, ihale aşamasındaki bir YİD projesinin sponsorların bakış açılarından iki farklı ihale hedefi altındaki ikilemi belirtilmiştir. Beşinci bölümde, sponsorların ihale kazanma hedefini maksimize eden tek amaçlı komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritması sunulmuştur. Diğer taraftan altıncı bölümde ise sponsorların borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesini amaçlayan tek amaçlı komşuluk tabanlı DE algoritması sunulmuştur. Aslında, bu konuların tartışmasına çalışmanın birinci bölümünde yer verilmiştir. BWI maksimizasyonunda özsermaye oranı azaldıkça BWI yükselmektedir ve LAI maksimizasyonunda, özsermaye oranı azaldıkça LAI değeri düşmektedir. Bunun gibi diğer karar değişkenleri için de amaç fonksiyonlarına ters etki söz konusudur; yurtiçi ve yurtdışı birim ücret tarifesi arttıkça BWI düşerken, LAI yükselmektedir. Amaçlar birbirlerine çelişen amaçlardır. Bir YİD projesi sözleşmesinde imtiyazlı öğelerin optimal değerlerinin güvence altına alınması ve dış borç araştırılması ihtiyacı sponsorlar için eşit öneme sahip olduğuna göre, bu koşul altında, ihale hedeflerinin her ikisinin eş zamanlı başarılması, belirli kısıtların tatmin edilmesine ve imtiyazlı öğelerin en iyi değerlerinin seçilmesi hakkında karar verilmesine bağlıdır. Bu iki amacın dengelenmesi ihtiyacı YİD projesi ihale probleminin çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle edilmesini gerektirmektedir.

## 7.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Problemi

Önerilen çok amaçlı YİD proje ihale optimizasyon problemi, iki ihale hedefiyle eş zamanlı ilgilenilmesini amaçlamaktadır: (1) YİD projesinin kazanma potansiyelinin maksimize edilmesi; (2) borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi. Bu iki amaç fonksiyonlarının açık matematiksel ifadeleri çalışmanın beşinci ve altıncı bölümlerinde tasvir edilmiştir ve ilişkili kısıtlamalar beşinci bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bölümde yine de, önerilen çok amaçlı optimizasyon probleminin matematiksel temsili, amaç fonksiyonlarının ve kısıtlamaların kısa ve öz olarak kolaylaştırılmış yapılandırması gösterilmiştir.

### 7.2.1. Amaç fonksiyonları

1. *Amaç: YİD projesinin kazanma potansiyelinin maksimize edilmesi*

*İhale kazanma indeksi (Bid-winning-index BWI)* olarak tanıtılan finansal performans ölçümü, sponsorların bakış açılarından YİD projesinin ihale kazanma potansiyelini ölçer (detaylar için beşinci bölüme bakınız). Yüksek bir BWI değeri, YİD projesinin ihaleyi kazanma olasılığının yüksek olduğunu gösterir. Denklem 7.1 bu ihale hedefini temsil etmektedir.

$$\text{Maksimum BWI}(i. \ddot{o}) = \left( \frac{NPV^S_x \bar{U}}{P_{D_0} x P_{I_0} x SOP} \right) - P(x) \quad (7.1)$$

(i.ö) =  $[\epsilon, P_{D_0}, P_{I_0}, SOP]^T$  karar değişkenlerinin vektörüdür. (i.ö: imtiyazlı öğelerdir)

2. *Amaç: Borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi*

*Borç bulma indeksi (Lender-attractiveness-index LAI)* olarak adlandırılan diğer finansal performans ölçümü, sponsorların bakış açılarından YİD projesi için borç bulma potansiyelini özsermayenin yararlılığını dikkate alarak değerlendirir (detaylar için altıncı bölüme bakınız). Yüksek bir LAI değeri, daha iyi bir borç bulma olasılığını gösterir. Denklem 7.2 bu ihale hedefine örnek teşkil etmektedir.

$$\text{Maksimum LAI}(i. \ddot{o}) = DSCR_{avg} * U_{\epsilon} - P(X) \quad (7.2)$$

### 7.2.2. Kısıtlamalar

İki amaç fonksiyonu yukarıda belirtilmiştir. Amaç fonksiyonlarına ait birkaç finansal kısıtlamanın tatmin edilmesi gerekmektedir. Bu kısıtlamalar, çalışmanın beşinci bölümünde detaylarıyla ele alınmıştır. İlerleyen gösterimlerde, kısıtlamaların sadece matematiksel ifadeleri sunulacaktır.

*Kısıt 1: finansal yapılabirlik*

$$NPV^S \geq 0 \quad (7.3)$$

*Kısıt 2: finansal sürdürülebilirlik*

$$NCF_{j+1}^S \geq 0 \quad (7.4)$$

*Kısıt 3: kârlılık*

$$IRR^S \leq IRR_U^S \quad (7.5)$$

*Kısıt 4: yatırımın hükümet kuruluşuna finansal geri dönüşü*

$$NPV^G \geq 0 \quad (7.6)$$

*Kısıt 5: karar değişkenleri için aralık kısıtlamaları*

$$OP_{max} \geq SOP \geq OP_{min} , \quad P_{0,max} \geq P_0 \geq P_{0,min} , \quad \epsilon_{max} \geq \epsilon \quad (7.7)$$

Yukarıda verilmiş olan YİD proje ihalesi için geliştirilen çok amaçlı optimizasyon problemi [bakınız denklem (7.1)-(7.7)] kısıtlamalarına bağlı olarak [BWI(i.ö), LAI(i.ö)]<sup>T</sup> amaç fonksiyonu vektörünün eş zamanlı maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Sunulan çok amaçlı optimizasyon problemi YİD projesi için ihale planlaması alanında yeni bir yaklaşımdır. Matematiksel olarak, amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrusal değildir, karar değişkenleri karışık tamsayıdır ve problem kısıtlı çok amaçlı optimizasyon problemidir.

### 7.3. Çok Amaçlı YİD Projesi İhale Optimizasyon Modeli

Yukarıdaki kısım 7.2'de tanıtılan MOP'u çözmek için ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı Diferansiyel Evrim algoritması kullanılmıştır. Bu optimizasyon probleminin çözüm yöntemi için çok amaçlı optimizasyon probleminin temelleri ve detayları çalışmanın dördüncü bölümündeki kısım 4.2.5'te ele alınmıştır.

### 7.3.1. Uzlaşmış-tatminkâr en iyi çözüm

Önceki dördüncü bölümdeki kısım 4.2.5'te bahsedildiği gibi, sunulan YİD projesi ihale optimizasyon problemi sponsorlara, eşit olarak iyi çözümlerin bir setini (Pareto Front) sağlar. Sponsorlar, Pareto-optimal çözümleri kullanarak, YİD projesinin ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi arasında Trade-off (değişim)-değerlendirme yapabilirler. Pareto optimal çözümler kümesindeki çözümlerden hiç biri diğerinden daha iyi değildir. Hangi çözümün seçileceği, yönetimin vereceği bir karar olmaktadır. Seçilecek bu tekil çözüme “tatminkâr-uzlaşmış en iyi çözüm” ya da “tercih edilen uygun çözüm” denilmektedir. Bu tekil çözüm karar vericilerin sezgilerine dayanmaktadır. Literatürde bu tekil çözümün nasıl belirleneceği ile ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu tez araştırmasında, pareto optimal çözümlerden tatminkâr en iyi çözümün bulunmasında basit bir bulanık yaklaşım kullanılmıştır. Aynı tekniği daha önce Tapia ve Murtagh (1991); Wang ve Singh (2007); ve Islam (2008) uygulamışlardır<sup>254</sup>.

Bulanık yaklaşımın hesaplama adımları aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Amaç uzayındaki her çözüm için bulanık üyelik fonksiyonlarını hesapla.

Denklem 7.8'deki doğrusal bulanık üyelik fonksiyonu, pareto optimal çözüm kümesindeki baskın olmayan bir çözümün belirli bir amaç fonksiyonunu tatmin etme başarısının derecesini ölçer<sup>255</sup>,

$$\mu = \begin{cases} 0 & F_i < F_i^{min} \\ \frac{F_i - F_i^{min}}{F_i^{max} - F_i^{min}} & F_i^{min} \leq F_i \leq F_i^{max} \\ 1 & F_i > F_i^{max} \end{cases} \quad (7.8)$$

$F_i$  = i'inci amaç fonksiyonunun değeridir,

$F_i^{max}$  = i'inci amaç fonksiyonunun maksimum değeridir,

$F_i^{min}$  = i'inci amaç fonksiyonunun minimum değeridir,

$\mu$  = pareto optimal çözüm kümesindeki belirli bir baskın olmayan çözüm için i'inci amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonudur.

<sup>254</sup> C.G. Tapia ve B.A. Murtagh (1991). Interactive fuzzy programming with preference criteria in multiobjective decision making. *Computers and Operational Research*, 18, 307-318. ; L. Wang ve C. Singh (2007). Environmental/economic power dispatch using a fuzzified multi-objective partial swarm optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 77(12), 1654-1664.

<sup>255</sup> Islam (2008), s. 161.

Adım 2: Normalize edilmiş üyelik fonksiyonlarının başarısını hesapla  
Denklem 7.9'daki normalize edilmiş üyelik fonksiyonu baskın olmayan bir çözümün tüm başarısını tespit eder.

$$\mu^k = \frac{\sum_{i=1}^O \mu_i^k}{\sum_{k=1}^S \sum_{i=1}^O \mu_i^k} \quad (7.9)$$

O= amaç fonksiyonlarının sayısıdır,

S= baskın olmayan çözüm sayısıdır ve

$\mu^k$ = pareto optimal çözüm kümesindeki k'inci baskın olmayan çözüm için normalize edilmiş üyelik fonksiyonudur.

Denklem 7.9'daki üyelik fonksiyonu, baskın olmayan çözümlerin bulanık öncelik sıralamasını belirtir. Böylelikle, tatminkâr en iyi çözüm,  $\mu^k$  üyelik fonksiyonu maksimum olan çözümdür.

Bu yöntemin özü; pareto uygulanabilir çözümler kümesindeki her bir baskın olmayan çözümün 1. amaç fonksiyonu değeri 0-1 arasında bir değere eşitlenir, daha sonra aynı işlem 2. amaç fonksiyonu uyum değerleri için yapılır. Yani amaç fonksiyonu değerleri kendi amaç fonksiyonu grubu içinde normalleştirilir. Normalize edilmiş 1. ve 2. amaç fonksiyonu uyum değerlerine ulaşıldıktan sonra bu değerler ilgili oldukları çözüme eşleşecek şekilde toplanır. İlgili çözümle eşleşen amaç fonksiyonları tekrar toplanır ve 1. ve 2. amaç fonksiyonu toplam değerlerinin tüm toplam içindeki ağırlıkları bulunur. En büyük ortalama ağırlık değerine sahip çözüm uzlaşmış-tatminkâr en iyi çözüm (BCS) olarak seçilir.

### 7.3.2. Hesaplama adımları

Çok Amaçlı YİD Projesi İhale Optimizasyon Modeli için MOEA/D-DE'nin hesaplama adımları aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

1. Adım: DE parametrelerini ve YİD projesinin yatırım parametresini gösteren giriş verilerini tanımla,
2. Adım: Ağırlık vektörleri arasındaki Öklid aralıklarını ve her bir ağırlık vektörü için en yakın (komşu) T vektörünü hesapla,
3. Adım: Kromozomların kümesini, parametrelerin sınırları dahilinde gerçek değerli kodlamayla ilk nüfusu rastgele oluştur ve kromozomların uyumluluk değerlerini  $\lambda$  ağırlık değerleriyle çarparak hesapla,

4. Adım: Normalizasyon için amaç fonksiyonunun en iyi ve en kötü değerini sakla,
5. Adım: Eşleşme havuzu için  $[0,1]$  arasında düzgün dağılımlı rassal sayı üret. Üretilen sayı  $\delta$  değerinden küçükse hedef kromozomun komşuluğundan değilse tüm popülasyondan DE operatörlerini kullan,
6. Adım: Onarım stratejisi kullanarak uyumlu kromozom seti ile mevcut nüfusu güncelle,
7. Adım: Normalizasyon için amaç fonksiyonunun en iyi ve en kötü değerlerini güncelle,
8. Adım: Yer değişimi mekanizması için yavru kromozomu T komşuyla karşılaştır ve nr sayıda çözümü kullanarak yer değişimini gerçekleştir,
9. Adım: Çözüm yakınsaması olup olmadığını kontrol etmek için nesillerin önceden belirlenmiş maksimum sayılarına ulaş; eğer yoksa, Deterministik MOEA/D-DE (BWI-LAI Model)'nin sona ermesine kadar 5-8 adımlarını tekrarla,
10. Adım: Deterministik MOEA/D-DE (BWI-LAI Model)'nin bitiminde en iyi çözümü ve ilgili özeti raporla.

#### 7.4. Sayısal Örnek

Bu kısımda, sponsorların bakış açılarından YİD ihalesi hedeflerinin maksimize edilmesi için geliştirilen çok amaçlı evrimsel algoritmanın kullanışlılığı sayısal bir örnekle sunulacaktır. Bir YİD projesinde BWI (bid-winning index) ile ölçülen kazanma potansiyelinin ve LAI (*Lender-attractiveness-index*) ile ölçülen borç bulma potansiyelinin eş zamanlı maksimize edilmesiyle ilgili geliştirilen modelin yeteneği sayısal örnek sayesinde gösterilecektir.

##### 7.4.1. Model girdileri

Önceki bölümlerde (bölüm 5-6) kullanılan YİD projesi verilerinden, bu bölümde de örnek olay olarak yararlanılmıştır. BWI ve LAI'nin maksimize edilmesi için tek-amaçlı DE algoritmasından elde edilenler ile geliştirilen MOEA'dan sağlanacak sonuçların adil bir karşılaştırmasını yapabilmek için aynı gerçek yaşam YİD Projesi Havaalanı örneği seçilmiştir. Bu sebeple, 6. ve 7. Tablolarda verilen yatırım ve finansal parametreler (beşinci bölüme bakınız), geliştirilen MOEA için yatırım parametreleri girdileri olarak aynı değerlerde alınmıştır. *MOEA/D-DE* girdi parametreleri aşağıdaki

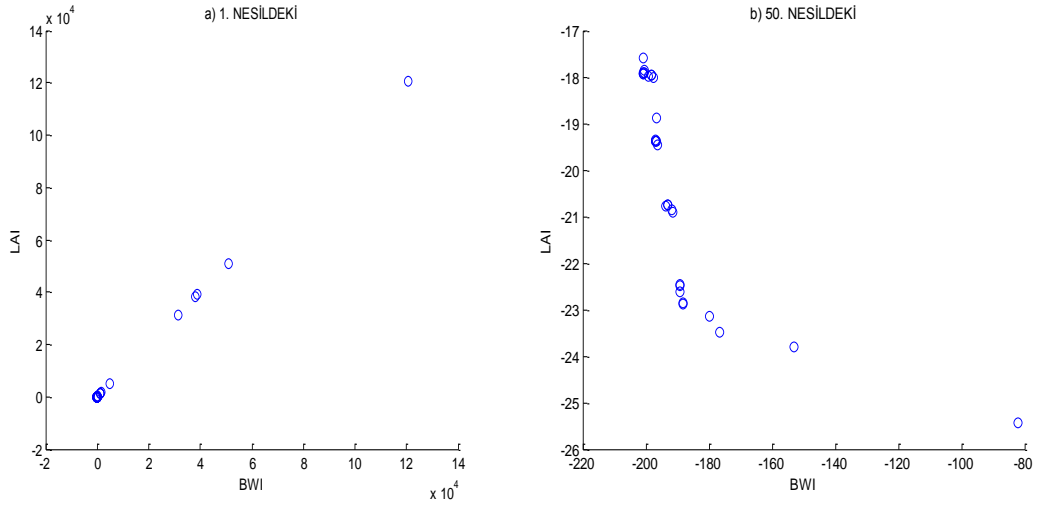
Tablo 16’da gösterilmiştir. Bu değerler, algoritmanın önceki çalıştırmalarından elde edilen sonuçlar çerçevesinde belirlenmiştir.

Tablo 16. Deterministik MOEAD/D-DE (BWI-LAI) İçin Parametreler

MOEAD/D-DE parametreleri	Değer
Popülasyon Büyüklüğü, N	30
Ölçekleme Faktörü, F	0,5
Çaprazlama Olasılığı, Cr	0,5
Komşuluk Büyüklüğü, T	10
Komşuluktan seçilen ebeveyn çözümlerin olasılığı, $\delta$	0.9
Yavru çözümlerle yer değiştirecek çözümlerin maksimum miktarı, $n_r$	1
Ceza katsayısı, $P_{coeff}$	$10^9$
Maksimum nesil sayısı, G	100

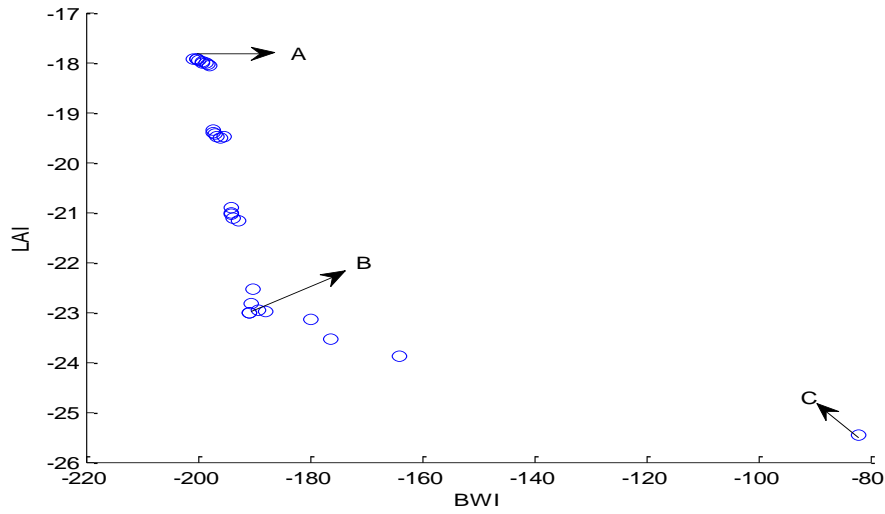
#### 7.4.2. Çok amaçlı model sonuçlarının analizi

Bu kısımda, MOEAD/D-DE algoritması ile elde edilen sonuçların tam bir tartışması sağlanacaktır. Aşağıdaki Şekil 29’da iki farklı nesildeki Pareto cephesi oluşumu gösterilmektedir. Şekil 29 (a)’da gösterildiği gibi ilk nesilde yani başlangıç popülasyonunda gözle görünür net bir Pareto cephesi yoktur. Bunun sebebi, başlangıç popülasyonundaki baskın-olmayan (non-dominated) çözümlerin sayısının varlığının azlığıdır. Aslında, ardışık nesillerin sonucunda popülasyondaki baskın olmayan çözümlerin sayısı artar. Dolayısıyla, pareto cephesi oluşumu global optimuma doğru kademeli olarak ilerler. Şekil 29 (b) pareto cephesinin 50. nesildeki bir evrimini gösterir. MOEAD/D-DE algoritması amaç fonksiyonlarının minimizasyonuna göre çalıştığı için BWI ve LAI amaç fonksiyonları -1 ile çarpılarak hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 29. MOEAD/D-DE Çok Amaçlı Optimizasyon Süreci (BWI Ve LAI)

BWI ve LAI amaçları birbirleriyle çelişen nitelikte amaçlar olduğu için amaçların eş zamanlı maksimizasyonu için, bir amaçtan diğeri adına vazgeçme durumu aşağıdaki Şekil 30'da daha net görülmektedir.



Şekil 30. IRR %15 Kârlılık Altında Pareto-Front

Sonuç olarak, izleyen nesillerden sonra, geliştirilen MOEAD/D-DE 100. nesilde pareto cephesini sağlamıştır. Şekil 30, pareto cephesi noktalarını göstermektedir. Bu Pareto-Front'taki her nokta, sponsorların bakış açılarından %15 kârlılık altında, BWI ve LAI'nin değerlerine karşılık gelerek, global optimum bir çözümü sunar.

### Trade-off eğrisinin analizi

Pareto Front, diğer ifadeyle BWI ve LAI trade-off eğrisi Şekil 30’da görüldüğü gibi iki uç noktaya (A-C) sahiptir. Bu iki nokta gerçekte, BWI ve LAI’nin maksimum olduğu iki pareto optimal çözüm noktasıdır. Örneğin Şekil 30’daki A noktası, BWI’nin maksimum olduğu 200.81 değerine ve LAI’nin minimum olduğu 17.93 değerine karşılık gelir. Karşılık olarak C noktasının pozisyonu, LAI’nin maksimum olduğu 25.47 değerine ve BWI’nin minimum olduğu 81.96 değerine karşılık gelir.

Aşağıdaki Tablo 17, yukarıda bahsedilen Pareto Front’taki iki noktaya (Şekil 30’daki A ve C) karşılık gelen model sonuçlarını içerir. Tablo 17’de gösterildiği gibi, sırasıyla BWI ve LAI’nin maksimizasyonu için imtiyazlı öğelerin farklı değerleri gerekmektedir. Örneğin, 1. amaç BWI’i maksimize etmek için, imtiyazlı öğelerin gereken değerleri aşağıdaki gibidir: İmtiyaz süresi CL (SOP+yapım yılı), 27 yıl; yurtiçi birim yolcu tarifesi ( $P_{D0}$ ), 2.10 €; yurtdışı birim yolcu tarifesi ( $P_{10}$ ), 11.99 €; özsermaye seviyesi ( $\epsilon$ ), %24.99’dur. İmtiyaz süresinin uzunluğu, BWI ve LAI’nin maksimize edilmesi için gereken sponsor çalışma süresine 2 yıl yapım süresinin eklenmesiyle hesaplanmıştır. BWI ve LAI’nin maksimize edilmesi için gereken karar değişkenlerinin değerlerindeki farklılık önemlidir. Özsermaye seviyesi her iki amaçta da eşit çıkmıştır. Sponsor çalışma süresinin azaltılması ve birim fiyatların yükselmesi sonucu LAI maksimize edilmiştir ( $LAI_{max}$  değeri 25.47 olmuştur).

Tablo 17.  $IRR^S$  %15 Kârlılık Altında BWI ve LAI Değişimi(Trade-Off)

Pareto Front Noktaları	Performans Ölçümleri	Amaç Fonk. Değerleri (BWI,LAI)	SOP (yıl)	$P_{D0}$ (€)	$P_{10}$ €	$\epsilon$
A	$BWI_{max}$	200.81, 17.93	25	2.10	11.99	%24.99
B	BCS	190.71, 23.02	22	2.68	12.01	%25.04
C	$LAI_{max}$	81.96, 25.47	15	3	15	%24.99

Aslında, LAI’nin maksimizasyonunda tüm parametreler sınırlarda çıkmıştır. Bunun sebebi, projenin oldukça kârlı bir yatırım olması sebebiyle halihazırda yüksek bir

DSCRavg oranına sahiptir. Tüm parametreler alt sınırlarında olsa bile (özsermaye seviyesi=0.20, SOP=15, yurtiçi birim ücret tarifesinin taban değeri 2.00 €, yurtdışı birim ücret tarifesinin taban değeri 10.00 €) DSCRavg oranı 2.002 olmaktadır ve makul bir DSCRavg 1,5 oranından oldukça yüksektir. DSCRavg oranı sponsor çalışma dönemi arttıkça azalan bir yapıdadır, SOP 49 yıl olarak belirlendiğinde bile DSCRavg 1.95 olmaktadır. Proje şirketinin borç verenlerden borç bulma konusunda bir sıkıntı yaşamayacağı görülmektedir. Bu proje için sadece BWI amacının dikkate alınması daha doğru olur. Çünkü  $BWI_{max}$  için belirlenen parametreler, 2.20 gibi yüksek bir DSCRavg oranına sahiptir. Bu sebeplerle, LAI amacının hesaba katılması çok gerekli olmamakla birlikte, proje şirketi eğer bu durumda bile borç bulma sıkıntısı yaşıyorsa, LAI ve BWI'nin eş zamanlı maksimizasyonunun hesaplanması önemlidir. BWI değeri ne dereceye kadar azaltılırsa proje şirketinin kârından ödün vermeden borç bulma potansiyeli artırılabilir sorusu araştırılması gereklidir.

Sonuç olarak, yukarıdaki tartışmalar gösterir ki sponsorlar BWI ya da LAI'den birini maksimize etmek yerine, her iki amacı da sağlayan trade-off (iki amacın ayrı ayrı yararlılıklarından diğer amaç adına vazgeçen) çözümü yeğleyebilirler. Pareto Front'u kullanmanın özü Şekil 30'da gösterilmiştir, dolayısıyla BWI ve LAI arasında değişim (trade-off) kararı vermek önemli olmaktadır. A ve C noktalarına ek olarak Şekil 30'daki Pareto Front'taki diğer farklı bir nokta, BWI'nin spesifik bir değeri ve LAI'nin spesifik bir değeri arasında değişim (trade-off) sunar. Pareto Front'taki bu noktalara karşılık gelen çözümler sponsorların ihale hedeflerinin ulaşılması açısından aynı derecede iyidir. Her çözüm için, BWI ve LAI'nin değeri, diğerinin değerinden ödün vermeden arttırılamaz. BWI ve LAI trade-off eğrisi, sponsorlara uzlaşmış en iyi çözümü seçmede olanak sağlar. Uzlaşmış en iyi çözümün (BCS best-compromise-solution) seçiminde, imtiyazlı öğelerin optimal değerlerinin yararlılıklarının gerçekleştirilmesi açısından sponsorlar için kritik öneme sahiptir. Çünkü YİD projesinin ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin birlikte eş zamanlı olarak arttırılması sağlanabilir.

Tatminkâr en iyi çözümün (BCS) hesaplanmasında, denklem 7.8 ve 7.9'daki parametreler tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu sayısı  $O=2$ ; baskın olmayan çözüm sayısı (kromozom sayısı)  $S=30$ ;  $F_1^{min}=BWI_{min}=81.96$ ;  $F_1^{max}=BWI_{max}=200.81$ ;  $F_2^{min}=LAI_{min}=17.93$ ;  $F_2^{max}=LAI_{max}=25.47$ 'dir (BCS için bakınız Tablo 17).

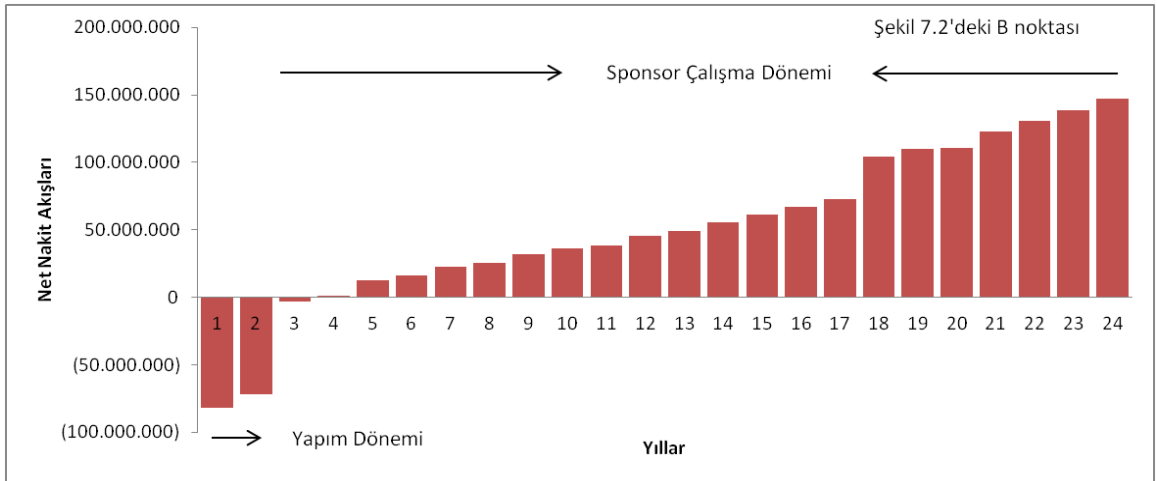
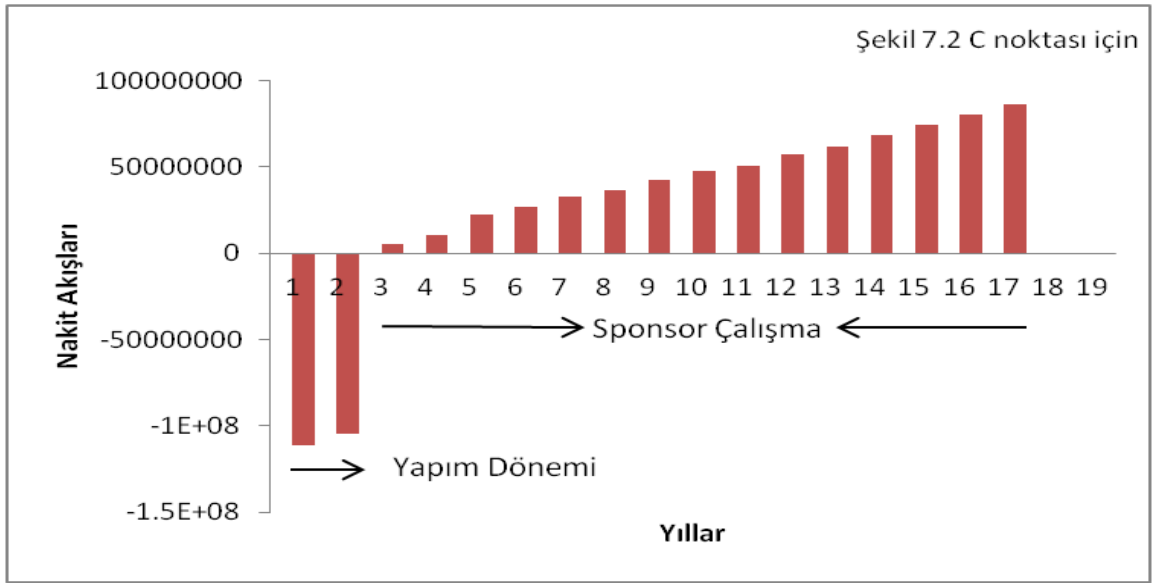
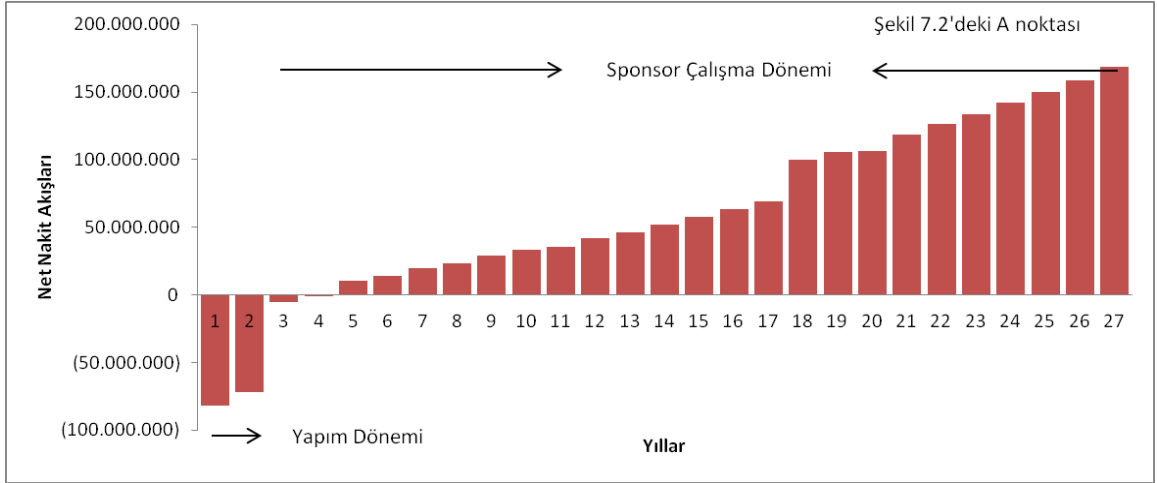
Proje şirketi BCS çözümdeki karar değişkenlerinin değerlerini seçerek, daha rekabetçi olabilir. BWI maksimizasyonuna göre, imtiyaz süresini 3 yıl azaltarak, yurtiçi birim ücret tarifelerini 0.58 € arttırarak, özsermaye düzeyini %04 arttırarak kârlılığınan çok fazla ödün vermeden ihalede diğer şirketlerle daha rekabet edebilir hale gelebilir. Aşağıdaki Tablo 18’de görüldüğü gibi, BCS çözüm seçilerek BWI<sub>max</sub>’daki borç servis oranının ( $DSCR_{avg}$ ) yükselmesiyle borç bulma potansiyeli arttırılmıştır.

*Tablo 18. %15 Kârlılık Altında BWI ve LAI’deki (Trade-Off) Değişimin Performans Ölçümleri*

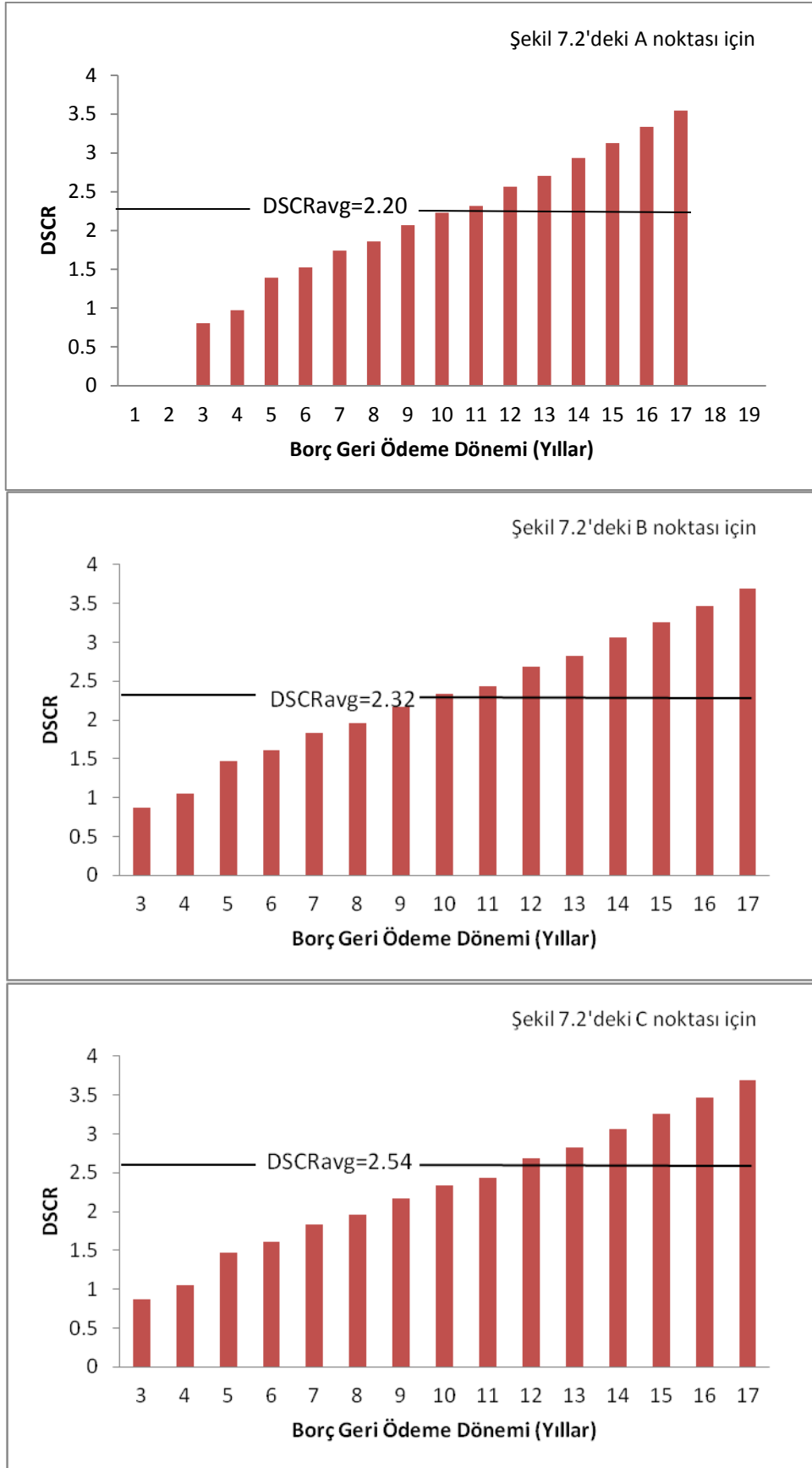
Pareto-front Noktaları	Performans Ölçümleri	Değerler (BWI,LAI)	$NPV^S$ $\times 10^6$ €	$DSCR_{avg}$	$NPV^G$ $\times 10^6$ €
A	BWI <sub>max</sub>	200.81, 17.93	155	2.20	1.823
B	BCS	190.71, 23.02	136	2.32	1.806
C	LAI <sub>max</sub>	81.96, 25.47	55.31	2.54	1.603

Tablo 18’den görüldüğü gibi, projenin NPV’si üç çözümde de pozitiftir. Bu durum projenin finansal açıdan yapılabilirliğini göstermektedir. Aynı şekilde, ortalama borç servisi karşılama oranı ( $DSCR_{avg}$ ) üç çözümde de 1.5 oranından oldukça büyük çıkmıştır. Sponsorların proje borçlarını rahat bir şekilde ödemede bulunabileceklerini göstermektedir. Benzer olarak, hükümetin  $NPV^G$ ’si üç çözümde de pozitif çıkmıştır.

Sponsorların bakış açılarından nakit akışı profilleri aşağıdaki Şekil 31’de görünmektedir. Şekil 32’de ise farklı  $DSCR$  profilleri görünmektedir. Her üç şekil BWI<sub>max</sub>, BSC ve LAI<sub>max</sub> sonucunda bulunan imtiyazlı öğelerin optimize edilmiş değerlerinin sonuçlarına dayalı farklı finansal senaryoyu gösterir. Şekil 31’de gösterildiği gibi sponsorların nakit akışları üç çözümde de pozitif değer almaktadır. Finansal finansal sürdürülebilirlik kısıtının sponsor çalışma dönemi boyunca sağlandığı görünmektedir. Benzer olarak Şekil 32’de geri ödeme periyodundaki yıllarda  $DSCR$  oranının en az 1’den büyük olduğu görünmektedir, sponsorların bakış açılarından borç geri ödeme süresince alınan borçların ödemesinde proje iyi kapasitededir.



Şekil 31. Pareto-Front'un Farklı Noktalarındaki Sponsorların Nakit Akışları



Şekil 32. Pareto Front'un Farklı Noktalarındaki DSCR Profilleri

### *Model sonuçlarının geçerliliği*

MOEA/D-DE algoritması aracılığıyla sağlanan model sonuçlarının geçerliliği için, tek amaçlı ve çok amaçlı modellerden elde edilen BWI ve LAI maksimum değerleri karşılaştırılmıştır. Tekrar etmek gerekirse, bu değerler projenin iç getiri oranının (IRR) %15 üst limitte olduğu duruma karşılık gelmektedir. Tablo 19, tek amaçlı DE algoritmasından ve MOEA/D-DE algoritmasından elde edilen BWI ve LAI'nin maksimum değerleri arasındaki yakınlığı göstermektedir. Bu bulgu, MOEA/D-DE algoritmasının her amaç için tekil olarak en iyi çözümü sağladığını ispatlar.

*Tablo 19. BWI ve LAI İçin En İyi Çözümler*

	BWI'nin Maksimum Değeri	LAI'nin Maksimum Değeri
Tek amaçlı DE	200.94	25.47
MOEA	200.81	25.47

### *MOEA'nın Tekrarlanabilirliği*

MOEA sezgisel bir arama tekniğidir ve pareto optimal çözümleri aramak için rastgeleliği kullanır. Bu sebeple, MOEA'dan sağlanan en iyi çözümler ardışık çalıştırmalarda değişiklik gösterebilirler. MOEA'nın robotikliğini araştırmak için, beş bağımsız çalışma gerçekleştirilmiştir. 5 bağımsız çalıştırmadan elde edilen sonuçlar, maksimum BWI ve LAI değerleri aşağıdaki Tablo 20'de sunulmuştur.

*Tablo 20. MOEA Tekrar Edilebilirlik Testi*

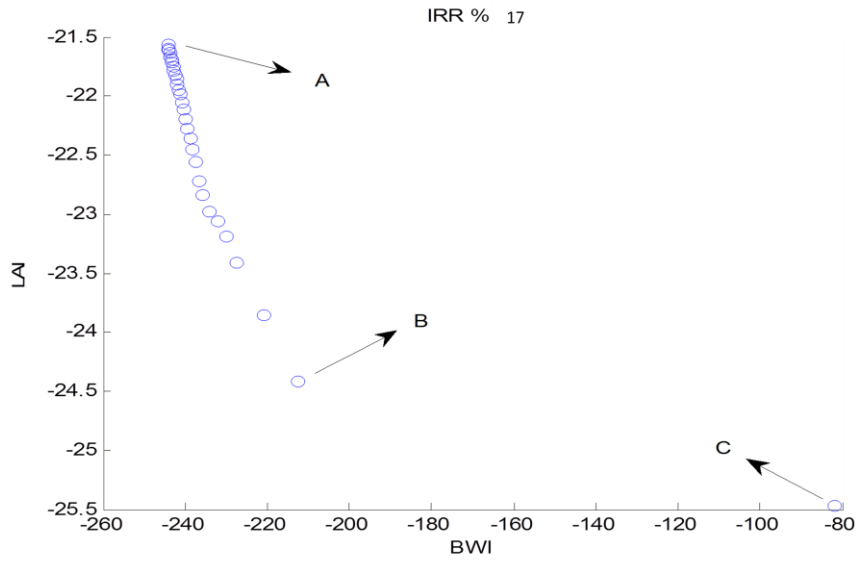
Run #	Maksimum BWI Değeri	Maksimum LAI Değeri
1	200.5204	24.6169
2	200.5383	25.43
3	200.8175	25.47
4	200.5280	25.3642
5	200.5280	25.4728

Yukarıdaki tablo, modelin farklı çalıştırmalarında, BWI ve LAI maksimum değerlerinde önemli bir değişikliğinin olmadığını gösterir. Beş farklı çalıştırmada model hemen hemen birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Değerlerdeki küçük farklılıklar,

MOEA'nın robotik olduğunu doğrulamaktadır. Daha da ötesi, tekrarlanabilir sonuçlar üretmede modelin yeteneği kanıtlanır.

### 7.4.3. Sponsorların kârlılığının senaryo analizi

Senaryo analizi yapılarak sponsorların kârlılığının üst sınırı %17 belirlenmiştir. %17 kârlılık altında BWI ve LAI trade off çözümleri için model çalıştırılmıştır. Modelden elde edilen sonuçların nokta dağılımı aşağıdaki Şekil 33'de gösterilmiştir.



Şekil 33. %17 Kârlılık Altında Pareto-Front

Sponsorların ihaleyi kazanma ve borç bulma potansiyelini birlikte maksimize eden karar değişkenlerinin değerleri aşağıdaki Tablo 21'de gösterilmiştir.

Tablo 21. IRR %17 Kârlılık Altında BWI ve LAI Değişimi(Trade-Off)

Pareto Front Noktaları	Performans Ölçümleri	Amaç Fonk. Değerleri (BWI,LAI)	SOP (yıl)	P <sub>D0</sub> (€)	P <sub>I0</sub> €	ξ (%)
A	BWI <sub>max</sub>	244.18, 21.57	30	2.70	12	%20
B	BCS	212.46, 24.42	29	2.81	14.6	%24.98
C	LAI <sub>max</sub>	81.97, 25.47	15	3	15	%25

$BWI_{max}$  çözümüne göre (Şekil 33'teki A noktası) imtiyazlı öğelerin değerleri, %20 özsermaye, 30 yıl sponsor çalışma dönemi, 2.81 € yurtiçi birim ücret tarifesi ve 14.6 € yurtdışı birim ücret tarifesi olarak belirlenmiştir. BCS çözüme göre;  $BWI$ 'deki optimal değerlere göre sponsor çalışma dönemi 1 yıl azaltılırsa, özsermaye seviyesi %24.98'e yükseltirse ve birim fiyatlar sırasıyla 2.81 ve 14.6 € belirlenirse proje şirketi aynı kâr seviyesini sağlayarak borç bulma potansiyelini arttırabilir.

Aynı şekilde  $LAI_{max}$  çözümüne göre (Şekil 33'teki C noktası) imtiyazlı öğelerin değerleri, %25 özsermaye, 15 yıl sponsor çalışma dönemi ve 3€ ve 15€ birim tarifeler olarak belirlenmiştir. BCS çözüme göre (Şekil 33'teki B noktası) belirlenen karar değişkenleri ile proje şirketi ihalede daha rekabetçi olabilir. Çünkü yüksek birim tarifeler ihalede hükümet kuruluşunun tercih etmediği durumdur.

Sponsorların ihaleyi kazanma ve borç bulma potansiyelini birlikte maksimize eden model sonuçlarına göre performans ölçümleri değerleri aşağıdaki Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. %17 Kârlılık Altında  $BWI$  ve  $LAI$ 'deki (Trade-Off) Değişimin Performans Ölçümleri

Pareto-front Noktaları	Performans Ölçümleri	Değerler (BWI,LAI)	$NPV^S$ $\times 10^6$ €	$DSCR_{avg}$	$NPV^G$ $\times 10^6$ €
A	$BWI_{max}$	244.18, 21.57	238	2.15	1.876
B	BCS	212.46, 24.42	249	2.42	1.949
C	$LAI_{max}$	81.97, 25.47	55.31	2.54	1.603

Sponsorlar, BSC çözümü seçerek,  $BWI_{max}$ 'dan elde edilen değerlere göre daha rekabetçi olabilirler. BSC çözüm seçilerek hem projenin NPV'si artırılmıştır hem hükümet kuruluşunun NPV'si arttırılmıştır, hem de ortalama borç servisi karşılama oranı artırılmıştır. Aynı kârlılık altında sponsorların  $BWI_{max}$  çözümü yerine BCS çözümü seçmesi karlılığından ödün vermeden ihaleyi kazanma şansını arttıracaktır.

## 8. Araştırma Sonuçları, Tartışma ve Öneriler

YİD modeli, kamu altyapı yatırımlarının yüksek finansman yükünden kurtulmak için hükümetlerin izlediği bir finansman modelidir. YİD modellerinde, proje yatırım maliyetleri, proje şirketi tarafından karşılanarak altyapının inşası ve işletilmesi sağlanır. Bunun karşılığında proje şirketi imtiyaz süresi boyunca bu yatırımdan elde ettiği gelirlerle başlangıç yatırım maliyetini karşılamak ve kâr elde etmek durumundadır. Proje şirketi imtiyaz süresi sonunda altyapı tesisini işler durumda devlete devreder.

YİD projelerinin uygun kâr seviyesi kazanma olasılığı içermesi nedeniyle YİD projesinin kazanılması, şirketler açısından çok önemlidir. Çalışmada YİD projesine taraf olan ana ortaklar; sponsorlar, borç veren kuruluş ve ilgili hükümet kuruluşu olarak belirlenmiştir. Proje şirketinin YİD proje ihalesini kazanması için farklı tarafların çelişen çıkarlarını tatmin etmesi gerekmektedir. Bu çıkarlar sağlanmaya çalışılırken proje şirketinin kendi yönetim yeteneği içinde değiştirebileceği unsurlar; imtiyaz süresinin uzunluğu, özsermaye seviyesi ve ürün ya da hizmetlerin başlangıç/tabana fiyatı/tarifesi düzeyleri kritik unsurlar (imtiyazlı öğeler) olarak çalışma kapsamında ele alınmıştır.

YİD projesine taraf olan ana paydaşların proje şirketinden beklentileri, imtiyazlı öğelerin uygun değerlerinin ayarlanmasıyla ilgilidir. Bu açıdan bakıldığında, proje şirketinin YİD ihalesini kazanma olasılığının artırılması amacıyla YİD yatırım projesi modellenmesi bir optimizasyon problemidir. Bu araştırmanın amacı; YİD proje ihalesinin kazanılması için imtiyazlı öğelerin optimize edilmesidir. Araştırma amacına ulaşmak için çalışmanın öncelikli hedefleri, ihale aşamasındaki proje yüklenicileri (sponsorlar) açısından imtiyaz hedeflerine odaklanan finansal optimizasyon modellerini geliştirmek ve çözmektir.

Bu öncelikli hedefler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- (1) YİD projesinin kazanma potansiyelini maksimize eden imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini saptamak için tek hedefli optimizasyon modelini geliştirmek ve çözümlenmek.
- (2) YİD projesinin borç bulma potansiyelini maksimize eden imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini saptamak için tek hedefli optimizasyon modeli geliştirmek ve çözümlenmek.

(3) YİD projesinin kazanma ve borç bulma potansiyellerini birlikte eş zamanlı maksimize eden imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini saptamak için çok amaçlı optimizasyon modelini geliştirmek ve çözümlmek.

Araştırma amacını gerçekleştirebilmek için çalışmanın birinci bölümünde yani giriş bölümünde araştırma ile ilgili problem ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde, YİD projelerinin genel yapısı, proje finansman yöntemi olarak YİD projesi, YİD projelerindeki ana taraflar ve bu taraflar arasındaki sözleşmeye dayalı ilişkiler açıklanmıştır. Belirsizliklerin varlığında YİD projelerinin finansal değerlendirmesini yapabilmek için ikinci bölümün ilerleyen kısımlarında YİD projesindeki belirsizliklerin kaynakları detaylandırılmış ve belirsizlikle mücadele için yararlanılan farklı stratejilerden söz edilmiştir. Dolayısıyla YİD programının başarılı olması için ön koşul olarak, projeye yönelik risklerin doğru olarak tanımlanması, risklerin paylaşılması gerektiği belirtilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, araştırma amacına uygun olan finansal modellerin kurulması için öncelikle mevcut yatırım proje değerlendirme yöntemleriyle ilgili literatür araştırılmıştır. Deterministik yatırım ortamında kullanılabilecek dört yatırım değerlendirme yöntemi arasından indirgenmiş nakit akışı yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem, ihale aşamasındaki sermaye bütçeleme kararlarındaki donanımının uygunluğu, daha az detay gerektirmesi ve iyi bilinen bir yöntem oluşu nedeniyle kullanılmıştır. YİD projesinin belirsizliklerin varlığında finansal değerlendirme yapabilmek için belirsizlik altında karar verme yöntemleriyle ilgili literatür incelenmiştir. Yöntem seçimi için olasılıksal yaklaşımlarla bulanık küme teorisi, kapasite ve pratiklik açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda uygun yöntem olarak olasılık teorisine dayalı yaklaşımların en popüler olan Monte Carlo simülasyonu seçilmiştir. Üçüncü bölümün ilerleyen kısımlarında imtiyaz hedeflerine odaklanan finansal optimizasyon modellerinin çözümlenmesi için kullanılacak optimizasyon yöntemleriyle ilgili literatür incelenmiştir. Optimizasyon yöntemlerinin matematiksel modelleme ve metasezgisel tabanlılar olmak üzere 2 ana başlık altında incelendiği görülmüştür. Çözümlenmesi amaçlanan problemin karmaşıklığı nedeniyle metasezgisel tabanlı optimizasyon yönteminin benimsenmesi yoluna gidilmiştir. Kullanım rahatlığı, metasezgisel yöntemler arasından evrimsel algoritmayı ön plana çıkarmıştır, bu yüzden optimizasyon probleminin çözüm aracı olarak Evrimsel Algoritma seçilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ihale aşamasındaki YİD projesi yatırım değerlendirme yeteneğine sahip ve temel varsayımlara dayanan finansal bir model kurulmuştur. İndirgenmiş nakit akışı yöntemi, geliştirilen finansal modelin bel kemiği olmaktadır. Finansal model sponsorlarla, hükümet kuruluşuyla ve borç verenle ilgili önemli finansal performans ölçümlerinin devamlı hesaplanmasını göstermektedir. Bu bölümde daha sonra, Evrimsel Algoritmalar hakkında genel bilgiler verildikten sonra Diferansiyel Evrim algoritması tanıtılmıştır. Bunun sebebi ise optimizasyon aracı olarak Evrimsel Algoritmalar arasından hızlılığı ve kullanım kolaylığı sebebiyle Diferansiyel Evrim algoritmasının seçilmesidir. Nihayet, finansal optimizasyon modellerinde kullanılacak ayrıştırmaya dayalı komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritmasının işleyişi ve hesaplama adımları gösterilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde öncelikle gerçek dünya bir YİD havaalanı projesi verileri elde edilmiştir ve bu veriler dördüncü bölümdeki finansal modele göre düzenlenmiştir ve gerekli performans ölçümleri hesaplanmıştır. Bu YİD projesinin ihale kazanma potansiyelini maksimize etmek için imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini saptayan tek hedefli optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla ihale kazanma indeksi (BWI) olarak tanıtılan finansal performans ölçümü geliştirilmiştir. Bu ölçüme dayanarak, hükümetin ve sponsorların finansal çıkarlarını dikkate alan tek amaçlı optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Optimizasyon modelinin geliştirmesi aşamasında modelin doğru olarak kurulabilmesi için karar değişkenlerine duyarlılık analizleri uygulanmıştır. Böylelikle duyarlılık analizleri ile karar değişkenlerinin NPV'yi ve BWI'yi etkileme dereceleri hakkında bilgi sağlanmıştır. Optimizasyon çözüm aracı olarak dördüncü bölümde ele alınan, komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritması değiştirilerek kullanılmıştır. Geliştirilen optimizasyon modelinin deterministik yatırım ortamındaki çözümü gösterilmiştir. Beşinci bölümün ilerleyen kısımlarında belirsizliklerin varlığında YİD projesi finansal değerlendirmesi için simülasyon yöntemiyle projenin yapılabirliği incelenmiştir. Ve son olarak deterministik DE (BWI) modeli için farklı senaryolar geliştirilerek, yöneticilerin seçim yapma olanakları genişletilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde, aynı havaalanı YİD projesi için sponsorların borç bulma potansiyelini maksimize eden, imtiyazlı öğelerinin uygun değerlerini tanımlamak için tek amaçlı optimizasyon modeli kurulmuştur. Borç bulma indeksi (LAI) olarak

tanıtılan finansal performans ölçümü sunulmuştur. Sponsorların ve borç verenin farklı ekonomik ve finansal çıkarlarını dikkate alan optimizasyon modeli standart yapısı ortaya konmuştur. En sonunda deterministik yatırım ortamında havaalanı YİD projesi sponsorlarının borç bulma potansiyelini maksimize etme amacındaki optimizasyon problemi komşuluk tabanlı Diferansiyel Evrim algoritmasıyla çözümlenmiştir ve imtiyazlı öğelerin optimal değerleri elde edilmiştir.

7. bölümde, çalışmanın 5. ve 6. bölümlerinde belirtilen amaçların birbiriyle çelişen nitelikte amaçlar olduğu ve ihalenin kazanılması için iki amacın eş zamanlı başarılması gerektiği vurgulanmıştır. İki amaçlı YİD projesi ihale optimizasyon modeli sunulmuştur. İmtiyazlı öğelerin en iyi değerlerinin tespitinde, iki farklı ihale hedefinin optimizasyonun eş zamanlı olması ve belirli kısıtların tatmin edilmesi vurgulanmıştır. Optimizasyon probleminin çözümü için 4. bölümde ayrıntılarıyla ele alınan ayrıştırmaya dayalı çok amaçlı Diferansiyel Evrim algoritması (MOEA/D-DE) kullanılmıştır. İki amaçlı ihale optimizasyon modelinin gelişimi kademeli olarak gösterilmiştir ve imtiyazlı öğelerin amaçları farklı oranlarda sağlayan optimal değerleri elde edilerek uzlaşmış-tatminkar en iyi çözüm saptanmıştır. Geliştirilen optimizasyon modellerinden elde edilen sonuçlar açıkça göstermiştir ki; (1) imtiyazlı öğelerin yakın-optimal değerleri, YİD projesi ihale hedeflerine (ihale kazanma ve borç bulma) tek tek ulaşılmasında önemli ölçüde etkilidir, (2) YİD projesi ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin eş zamanlı maksimize edilmesi, imtiyazlı öğelerin değerlerinin tatminkâr en iyi çözümle seçilmesi ile mümkündür.

Son on yıldaki araştırmacılar, projelerin finansal yapılabirliğini analiz ederken YİD projelerini genellikle fizibilite aşamasında değerlendirmeye çalışmışlardır. Anlamlı katkılarına rağmen, bu araştırmacıların “ihale hedefleri etkili bir şekilde nasıl ele alınırsa ihale kazanma olasılığı yükseltilebilir?” biçimindeki YİD projesi imtiyazı açısından önem taşıyan araştırma sorularına yeterli ilgi duymadıkları gözlemlenmiştir. Bu araştırmacıardan yalnızca birkaçı ihale optimizasyon modelleri üzerine odaklanabilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile imtiyazlı öğelerin YİD projesi nakit akışları üzerindeki birleştirilmiş etkilerini araştırmak ve nihayetinde, en etkili ve verimli bir biçimde ihale hedeflerini optimize eden imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini saptamak mümkün olmaktadır.

Çalışma, YİD proje imtiyazı araştırmaları alanındaki akademik bilgi tabanına aşağıda belirtilen, küçük olduğu kadar önemli katkıları sağlamaktadır.

- (1) Çalışmada YİD proje ihalesi için kritik öneme sahip olan kilit finansal sözleşme unsurları (imtiyazlı öğeler) tanımlanmıştır. Az sayıda araştırmacı imtiyazlı öğelerin yalnızca birkaçı ile ilgilenmiştir. YİD tesisinden sadece bir ürün/hizmet üretildiği durum incelenmiştir. Bu çalışmada ise iki farklı tesis çıktısının projeye gelir getirmesi durumu incelenmiştir. Çalışma bu açıdan diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.
- (2) Dünyada kilit proje paydaşlarının (sponsorlar, hükümet ve borç veren) çelişen finansal ve ekonomik çıkarlarını hep birlikte tanımlayan tek bir çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında öncelikle bu yaklaşım ülkemize tanıtılmış daha sonra sponsorların farklı ihale hedeflerini ele alan optimizasyon modelinin oluşturulmasında bunlardan yararlanılmıştır.
- (3) Önceki araştırmalar ışığında iki yeni finansal performans ölçümü önerilmiştir. Bu finansal performans ölçümleri basit olmalarına karşın sponsorların ihale aşamasındaki ihale teklifi hedeflerinin tanımlanmasında etkilidir.
- (4) Deterministik yatırım ortamı altında iki adet tek amaçlı optimizasyon problemi geliştirilmiştir. Evrimsel algoritmalara dayalı çözüm yöntemleri sunulmuştur. Geliştirilen modellerin sponsorların ihale hedeflerini sağlaması bakımından imtiyazlı öğeleri optimize etme yeteneği yeterlidir.
- (5) İki farklı ihale hedefini eş zamanlı maksimize eden trade-off çözümlerin elde edilmesi için çok amaçlı YİD ihale optimizasyon modeli formüle edilmiştir. Çok amaçlı ihale optimizasyon modelinin geliştirilmesiyle, gerçek dünya verileri içeren örnek olay çalışması aracılığıyla ihale aşamasındaki YİD projeleri alanındaki yeni yeni gelişen bilgi birikimine katkı sağlamıştır.

Yukarıda sıralanan katkılar nedeniyle bu çalışmanın, YİD projelerinin finansal değerlendirilmesi alanında ihtiyaç duyulan amaçların başarılmasında devam eden uygulamalara yararlı olacağı öngörülmüştür.

Yatırım proje değerlemede sayısız finansal analiz modelleri mevcut olmasına rağmen, bu modeller, finansal tekliflerin hükümete gönderilmesinden önce, ihale hedeflerinin kritik değerlendirmesini üstlenmede yetersizdir. YİD ihalelerinde rekabet üstünlüğu kazanmak isteyen özel sektör şirketleri, imtiyazlı öğelerin mümkün olan

uygun değerlerini olabildiğince objektif olarak belirlemelidir. Bu şekilde finansal bir yarar sağlayabileceklerdir. Çalışma, YİD ihalesine katılmak isteyen özel sektör şirketlerine bu anlamda bazı pratik katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar, YİD projelerine taraf olmak isteyen özel sektör şirketleri için aşağıda tanımlanmıştır:

- (1) Geliştirilen modeller, özel sektör şirketlerinin YİD imtiyaz hedeflerine ulaşmasındaki karar verme sürecini iyileştirmektedir.
- (2) YİD projesi ihale hedefleri, optimizasyon modellerinin geliştirilmesiyle, açıkça belirtilmiştir.
- (3) Bir YİD girişiminin finansal sonuçlarını değerlendirmek için geliştirilen optimizasyon modelleri ile zaman ve kaynak verimliliği sağlanmıştır.
- (4) Model sonuçları, özel sektör şirketlerine hükümet kuruluşuna rekabetçi finansal tekliflerin hazırlanması ve önerilmesinde yardımcı olacaktır.
- (5) Ayrıca, model sonuçları, sponsorlar, hükümet ve borç verenler arasında sözleşmeye bağlı müzakereleri etkili bir şekilde yürütmek için bir destek aracı olarak yararlıdır.

Tezin ana sonucu olarak; geliştirilen optimizasyon modelleri, imtiyaz hedeflerine en etkili ve verimli bir şekilde ulaşılmasında özel sektör şirketlerinin kullanabileceği yararlı araçlar olarak ortaya konmaktadır.

YİD ihale sürecinin bütünü, özellikle ihale aşamalarının izleyen aşamaları yani müzakere süreci modele entegre edilmemiştir. Gelecek çalışmalarda, geliştirilen optimizasyon modellerinin genişletilmesi planlanmaktadır.

İlerleyen çalışmalarda belirsizlik/ risk altında imtiyazlı öğelerin trade-off çözümlerinin değerleri ve ilişkili faydalarını belirlemek için Evrimsel Algoritma ve simülasyonun kombine uygulamasını kullanan modellerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca bir VBA (Visual Basic for Applications) kodlaması arayüzüyle geliştirilen modellerin yöneticilere ihale sorunlarıyla başa çıkmada kolaylık sağlaması için karar destek sistemi gibi çalışan ve farklı senaryo analizlerine imkân veren bir yapıya kavuşması için gerekli çalışmalar da yapılacaktır.

Çalışmada, ihale kazanma indeksini (BWI) tanımlamak için kullanılan fayda fonksiyonu, sponsorlara, YİD projesinin kazanma potansiyelinin ölçülmesinde özsermaye seviyesinin ve taban fiyatların yararlılıklarını göstermektedir. Gelecek çalışmalar, önerilen fayda fonksiyonunu farklı teknikler kullanarak geliştirebilir.

Özel sektör şirketleri açısından YİD modellerin doğru sonuçlara ulaşması için özellikle ihale sürecinin yönetimi ile uzun vadeli sözleşmelerin izlenmesi alanlarında yeni bir uzmanlık geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu uzmanlığın elde edilmesi ve korunması başarılı YİD projeleri gerçekleştirebilmek adına vazgeçilmez bir unsur olmaya devam etmektedir.

İlaveten YİD projelerinin nitelikli analizler eşliğinde çok iyi değerlendirmelere tabi tutulması ve uygulama aşamasına geçilmeden önceki planlama aşamasına gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Bu araştırmada, sponsorların, hükümetin ve borç verenlerin çelişen finansal çıkarlarıyla başa çıkabilen yenilikçi modeller geliştirilmiş ve bu sayede YİD projelerinin ihalesiyle ilgili finansal modelleme alanına teorik ve pratik katkılar yapılmıştır. Böylelikle sponsorların ihale hedeflerini ele alan imtiyazlı öğelerin optimal değerlerini belirlemede sunulan optimizasyon modelleri ilgililere farklı bir bakış açısı sağlamıştır.

Sonuç olarak, proje değerlendirme sürecini daha etkili ve verimli planlamak ve sürdürmek için optimizasyon kavramının uzun vadede YİD proje ihalelerine kabulü umulmaktadır.

## Kaynakça

- Abdallah, H., Emara, H. M., Dorrah, H. T. ve Bahgat, A. (2009). Using Ant Colony Optimization algorithm for solving project management problems. *Expert Systems with Applications*, 36, 10004-10015.
- Abdel Aziz, A.M. (2000). *Generalized Economic model, risk analysis framework and desicion support system for analysis and evaluating capital investment projects*. Ph.D Thesis, Canada: British Columbia University.
- Ak, M. (2004). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve gerçek tercih yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Akalu, M.M. (2003). The process of investment appraisal: the experience of 10 large British and Dutch companies. *International Journal of Project Management*, 21(5), 355-362.
- Akgüç, Ö. (1998). *Finansal yönetim*. (7. Basım). İstanbul: Avcıol Basım-Yayın.
- Akintoye, A.; Hardcastle, C.; Beck, M.; Chinyio, E. ve Asenova, D. (2003). Achieving best value in private finance initiative project procurement. *Construction Management and Economics*, 21(5), 461-470.
- Akkoç, E. (2008). *Çok uluslu işletmelerde sermaye bütçelemesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Aksoy, E. (2007). *Diferansiyel Evrim algoritması ile anten dizilerinde örüntü şekillendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Arnoğlu, E. (1996). Enerji sektöründe Yap-işlet-devret modelinin irdelenmesi. *TMMOB Türkiye Enerji sempozyumu*. Ankara: Emo Yayınları, s.s. 235-258.
- Armaneri, Ö.; Özdağoğlu, G. ve Yalçınkaya, Ö. (2008). Proje risk düzeyinin belirlenmesi için simülasyonu ve bulanık kümeler teorisini temel alan bütünleşik bir yaklaşım. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 223-239.
- Bakatjan, S.; Arıkan, M. ve Tiong, R.L.K. (2003). Optimal capital structure model for BOT power projects in Turkey. *Journal of Construction Engineering and Management*, January-February, 89- 97.
- Baloi, D. ve Price, A. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. *International Journal of Project Management*, 21(4), 261-269.

- Başer, M. (2000). *Proje finansmanında bir araç olarak Yid modeli ve İzmit Büyükşehir Belediyesi su temin projesinde modelin uygulanışı*. Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Başkent, E.Z. (2004). *Yöneylem araştırması, modelleme ve doğal kaynak uygulamaları*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Genel yayın No:218, Fakülte yayın No:36, KTÜ Matbaası.
- Beasley, D. (1993). An Overview of Genetic Algorithms; Part 1, Fundamentals. *Universty Computing* 15: 58-69.
- Beidleman, R. C.; Fletcher, D. ve Veshosdy, D. (1990). On allocating risk: The essence of project finance. *Sloan Management Review*, Spring ,31.
- Bennet, J. ve Ormerod, R. (1984). Simulation applied to construction projects. *Construction Management and Economics*. 2(3), 225-263.
- Bostan, İ. (2007). *Yatırım projelerinin analizinde Reel Opsiyonların kullanılması ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi.
- Brigham, E. F. (1999). *Finansal yönetimin temelleri*. (Çev: Ö. Akmut ve H. Sariaslan). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları.
- Bromwich, M. (1979). *The economics of capital budgeting*. London: Pitman Publishing Ltd.
- Carr, V. ve Tah, J.H.M. (2001). A fuzzy approach to construction Project risk assessment analysis: Construction project risk management system. *Advances in Engineering Software*, 32, 857-857.
- Chang, L.M. ve Chen, P.H. (2001). BOT financial model: Taiwan high speed rail case. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(3), 214-222.
- Charles, M.R.; McGuigan, J. ve Kretlow, W.J. (1995). *Contemporary financial management*. (6. Edition). USA: West Publishing Company.
- Cheah, C.Y. J. ve Liu, J. (2005). Reel option evaluation of complex infrastructure projects: the case of Dabhol power projects in India. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 10(1), 55-68.
- Chiu, C.U. ve Park, C.S. (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*, 39(2), 113-138.
- Clark, J.J. (1989). *Capital budgeting, planning and control of capital expenditures*. (3. Edition). USA: Prentice Hall, Inc.

- Coates, E.R. ve Kuhl, M.E. (2003). Using simulation software to solve engineering economy problems. *Computers & Industrial Engineering*, 45, 285-294.
- Deb, K.; Agrawal, S.; Pratab, A. ve Meyarivan, T. (2002). A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multiobjective optimization: NSGA-II, *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 6 (4), 182–197.
- Derdiyok, T. (1993). Yap- İşlet-Devret Modeli. *Yaklaşım Dergisi*, Yıl 1, Sayı.9.
- Dey, P.K. ve Ogunluma, S.O. (2004). Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects. *Industrial Management and Date Systems*, 104(4), 334-346.
- Dixon, R. (1994). *Investment appraisal, a guide for managers*. London: Revised Edition, Kogan Page Limited.
- Dorigo, M.; Colorni. A. ve Trubian, M. (1991). Ant system for job scheduling, *Belgian Journal of Operations Research Statistics an Computer Science*, p.p. 321-323.
- Duman, S.; Öztürk, A. ve Tutkun, N. (2011). güç sistemi kararlı kılıcısı için Diferansiyel Evrim algoritması kullanarak PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesi. Elazığ: 6. *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, s.s. 269-274.
- Eiteman, D.K.; Stonehill, A. I. ve Moffett, M. H. (2004). *Multinational business finance*. (10. Edition). International Edition: Pearson Education Inc.
- Eke, İ. (2011). Diferansiyel Evrim algoritması destekli yapay sinir ağı ile orta dönem yük tahmini. *International Journal of Research and Development*, 3(1), 28-32.
- Emel, G.G. ve Taşkın, Ç. (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 129-152.
- Erdoğan, S. (2008). *Sermaye bütçelemesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak Reel Opsiyonlar yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi.
- Ersönmez, C. (1995). *Yap İşlet Devret modeli ve modelin finansmanına ilişkin bir analiz*. Uzmanlık Tezi. Ankara: Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı.
- Etgar, R.; Shtub, A. ve LeBlanch, L. (1996). Sheduling project to maxsimize net present value - case of time-dependent contingent cash flows. *European Journal of Operational Research*, 96(1), 90-96.
- Fabozzi, J.F. ve Peterson, P. (2003). *Financial management and analysis*. (2. Edition). USA: John Wiley & Sons Inc.

- Finnerty, J.D. (1996). *Project financing: Asset based financial engineering*. Canada: John Wiley&Sons Inc.
- Folks, W. R. ve Aggarwal, R. (1988). *International dimensions of financial management*. Boston: Kent Publishing Company.
- Ford, D.N.; Lander, D.M. ve Voyer, J.J. (2002). A real options approach to valuing strategic flexibility in uncertain construction projects. *Construction Management and Economics*, 20(4), 343-351.
- Garvin, M.J. ve Cheah, C.Y.J. (2004). Valuation techniques for infrastructure investment decisions. *Construction Management and Economics*, 22(4), 373-383.
- Gen, M. ve Cheng, R. (2000). *Genetic algorithms and engineering optimization*. USA: John Wiley&Sons, Inc.
- Gielen, G.G.E. ve R. A. Rutenbar (2000). Computer-aided design of analog and mixed-signal integrated circuits. *Proceedings of the IEEE*, 88(12), December.
- Gitman, L.J. (1989). *Basic managerial finance*. (2. Edition). New York: Harper&Row Publishers.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley.
- Goto, E.; Katoh, N.; Fujisawa, K. ve Joko, T. (1999). Maximizing net present value for generalized resource constrained project scheduling problem. Summaries of technical papers of annual meeting architectural institute of Japan, F-1, Urban Planning, building economics and housing problems.
- Hacura, A.; Hacura, M.J. ve Kocot, A. (2001). Risk analysis in investment appraisal based on the Monte Carlo simulation technique. *The European Physical Journal B*, 20, 551-553.
- Han, S.H ve Diekman, J.E. (2001). Making a risk based bid decision for overseas construction projects. *Construction Management and Economics*, 19(8), 765-776.
- Held, M. ve Karp, R.M.A. (1962). Dynamic Programming approach to sequencing problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 10, 196-210.

- Hesieh, T. ve Liu, T. (2004). Genetic algorithm for optimization of infrastructure investment under time-resource constraints. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering* 19(3), 203-212.
- Ho, S. P. ve Liu, L.Y. (2002). An option pricing-based model for evaluating financial viability of privatized infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 20(2), 143-156.
- Hoffman, L. S. (1998). *The law and business of international project finance*. Netherlands: Kluwer Law International pub.
- Huang, X. (2007). Chance-constrained programming models for capital budgeting with NPV as fuzzy parameters. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 198, 149-159.
- Huang, X.; Liang, C. ve Liu, Z. (2003). Applying on RAGA in estimating internal rate of return of hydropower project. *Nature and Science*, 1(1), 72-74.
- Islam, M. (2008). *Optimizing concessionary items' values for procuring privately financed infrastructure projects*. Ph.D Thesis. Avustralya: Griffith Üniversitesi.
- İçmeli, O. ve Erengüç, S.S. (1994). A tabu search procedure for the resource constrained project scheduling problem with discounted cash flows. *Computers and Operations Research*, 21(8), 841-853.
- Javid, M. ve Seneviratne, P.N. (2000). Investment risk analysis in airport parking facility development. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 298-305.
- Kahraman, C.; Ruan D. ve Tolga, E. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*, 141(1), 57-76.
- Kakimoto, R. ve Seneviratne, P.N. (2000a). Financial risk of port infrastructure development. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 126(6), 281-287.
- Kakimoto, R. ve Seneviratne, P.N. (2000b). Investment risk analysis in port infrastructure appraisal. *Journal of Infrastructure Systems*, 6(4), 123-129.
- Kang, C.C.; Feng, C.M. ve Khan, C. (2005). Risk assessment for build-operate-transfer project: Dynamic multi-objective programming approach. *Computers and Operations Research*, vol.32, 1633-1654.

- Kangari, R. (1988). Construction risk management. *Civil Engineering Systems*, 5, 114-120.
- Kangari, R. ve Riggs, L.S. (1989). Construction risk assessment by linguistics. *IEEE Transactions on Engineering*, 36(2), 126-131.
- Kapanoğlu, M. (2011). Genetik algoritmalar ders notları. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi.
- Karaboğa, D. (2004). *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Karush, W. (1939). *Minima of functions of several variables with inequalities as side conditions*. M.Sc Thesis. Chicago: Department of Mathematics, University of Chicago, IL.
- Kasko, B. (1991), *Neutral networks and fuzzy systems*, Prentice Hall.
- Kavcar, B. (2004). *Simülasyon yöntemi kullanılarak yapılan satış tahminleriyle satış bütçesi hazırlanması*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Kuchta, D. (2000). Fuzzy capital budgeting. *Fuzzy Sets and Systems*. 111, 367-385.
- Kuchta, D. (2001). A fuzzy model for R&D project selection with benefit, outcome and resource interactions. *The Engineering Economist*, 46(3), 164-180.
- Kuhn, H.V. ve Tucker, A.W. (1951). *Nonlinear programming*. (Editör: J. Neyman, Proc. Second Berkeley Sympos). Math. Statist. Probab. University of California Press, Berkeley, CA, 481-492.
- Kumaraswamy, M.M. ve Zhang, Q.X. (2001). Governmental role in BOT led-infrastructure development. *International Journal of Project Management*, 19(4), 195-205.
- Lang, L.H.P. (1998). *Project finance in Asia*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Lee, C. F. (1985). *Financial analysis and planning: theory and planning*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co.
- Lessard, D.R. (1985). *Evaluating foreign project: An adjusted present value approach, in international finance management, theory and application*. (Ed: D. R. Lessard). New York: John Wiley & Sons, s.s. 570-584.
- Levary, R.R. ve Seitz, N.E. (1990). *Quantitative methods for capital budgeting*. Cincinnati: South-Westren Publishing Co.

- Lianyu, C. ve Tiong, R.L.K. (2005). Minimum feasible tariff model for BOT water supply projects in Malaysia. *Construction management and Economics*, 23(3), 255-263.
- Liu, B.; Fernandez, V.; Zhang, Q.; Pak, M.; Sipahi, S. ve G. Gielen (2010). An enhanced MOEA/D-DE and its application to multiobjective analog cell sizing. *IEEE, Congress on Evolutionary Computation*, 23 July.
- Malini, E. (1999). Build, operate transfer municipal bridge projects in India. *Journal of Management in Engineering*, 15(4), 51-58.
- Martens, E. ve Gielen, G. G. E. (2008). Classification of analog synthesis tools based on their architecture selection mechanisms. *Integration – the VLSI Journal*, 41, 238- 252.
- Mohamed, S. ve McCowan, A. K. (2001). Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory. *International Journal of Project Management*, 19, 231-241.
- Moshe, B.H. (1987). *Essentials of corporate finance*. Boston: Allyn and Bacon, Inc.
- Nasir, D.; McCabe, B. ve Hartano, L. (2003). Evaluating risk in construction-schedule model (ERIC-S): construction schedule risk model. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), 518-527.
- Ngee, L.; Tiong, R.L.K. ve Alum, J. (1997). Automated approach to negotiation of BOT contracts. *Journal Of Computing in Civil Engineering*, 11(2), 121-128.
- Nowak, M. (2005). Investment projects evaluation by simulation and multiple criteria decision aiding procedure. *Journal of Civil Engineering and Management*, 11(3), 193-202.
- Önder, E. (2011). *Araç rotalama problemlerinin parçacık sürü ve genetik algoritma ile optimizasyonu*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Özdoğan, D. ve Birgönül, M.T. (2000). Decision support framework for project sponsors in the planning stage of build/operate/transfer (BOT) projects. *Construction Management and Economics*, 18(3), 342-353.
- Özsağlam, M.Y. ve Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması. *Journal of Polytechnic*, 11(4), 299-305.
- Öztürk, L. (2004). Monte-Carlo simülasyon metodu ve bir işletme uygulaması. *Doğu Anadolu Bölgesi araştırmaları*. Malatya: İnönü Üniversitesi, s.s. 116-122.

- Öztürk, N. (1994). Türkiye'de özel sektörün elektrik enerjisi sektörüne katılımı ve Yid modeli uygulamalar. *Türkiye 4. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri*, 7-22 Ekim.
- Paek, J.H.; Lee, Y.W. ve Ock, J.H. (1993). Pricing construction risk: Fuzzy set application. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 119(4), 743-756.
- Pak, M. (2011). *An enhanced multi-objective evolutionary algorithm (MOEA/D-DE) for the applications of analog sizing with both w/l and a novel operating point driven (opd) based methods*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.
- Payne, H. (1993). *Financial risk distribution in build operate and transfer projects: Project finance in Europe*. (Ed: S. Haydn). England: Jhon Wiley&Sons.
- Pinches, G.E. (1990). *Essentials of financial management*. (3. Edition). New York: Harper&Row Publisher.
- Pohlheim, H. (2006). Introduction evolutionary algorithms: overview, methods and operators. *Genetic Algorithms Toolbox for Matlab*.
- Polatkan, V. (2000). *Yap İşlet Devret modeli ile ulusal ve uluslararası tahkim*. Ankara.
- Ponnambalam, S.G.; Aravindan, P. ve Rajesh, S.V. (2000). A Tabu Search algorithm for job scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16. 765-771.
- Racliffe, N.J. (1992). *Nonlinear genetic representations. Proceedings of second conference parallel problem solvings from nature*. (Ed: R. Manner ve B. Manderick). Amsterdam: Elsevier Science Publishers, s.s. 259-268.
- Ranasinghe, M. (1996). Total Project cost: A simplified model for decision makers. *Construction Management and Economics*, 14(6), 497-505.
- Ranasinghe, M. (1999). Private sector participation in infrastructure projects: A methodology to analyse viability of BOT. *Construction Management and Economics*, 17(5), 613-623.
- Razavi, H. (1996). *Financing energy projects in emerging economies*. Tulsa, Oklahoma: Penn Well, Books.
- Rebiasz, B. (2007). Fuzziness and randomness in investment project risk appraisal. *Computers & Operations Research*, 34, 199–210.

- Ross, S.A.; Randolph, W.W. ve Jordan, B. D. (2002). *Fundamentals of corporate finance*. (6. Basım). USA: McGraw-Hill Irwin.
- Russel, A.D. ve Ranasinghe, M. (1992). Analytical approach for economic risk quantification of large engineering projects. *Construction Management and Economics*, 10, 207-301.
- Sağ, T. ve Çunkaş, M. (2009). Çok amaçlı genetik algoritmalar için bir çevrimdışı performans değerlendirmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*. Karabük: Karabük Üniversitesi.
- Sariaslan, H. (2003). *Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi, planlama-analiz-fizibilite*. (2. Basım). Ankara : Turhan Kitabevi Yayınları.
- Schroeder, R.G. (2000). *Operations management*. USA: McGraw-Hill.
- Seitz, N. ve Mitch, E. (2005). *Capital budgeting and long-term financing decisions*. (4. Edition). USA: South-Western, Thomson.
- Senbet, L. ve Triantis, A. (1997). Strategies for risk management financial contract design. Prepared for the World Bank Institute's *Building knowledge and enterprise in infrastructure finance* program, The World Bank, Washington, D.C.
- Sevütekin, M. (1992). Ekonometrik simülasyon modelleri. *Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:XIII, Sayı:1-2.
- Shapiro, A.C. (2005). *Capital budgeting and investment analysis*. Upper Saddle River, NJ USA: Pearson, Prentice Hall.
- Shen, L.Y.; Li, H. ve Li, Q.M. (2002). Alternative concession model for build/operate/transfer contract projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4), 326-330.
- Shou, Y. (2006). An ant colony algorithm for improving the net present value of resource constrained projects. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(6), 478-483.
- Siriwardene, N. R. ve Perera, B. J. C.(2006). Selection of geneticalgorithmoperatorsfor urban drainage model parameter optimization. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, 415-429.
- Srinivas, N. ve Deb, K. (1991). Multiobjective optimization using nondominated sorting genetic algorithms. *Journal of Evolutionary Computation*, 2 (3), 221-248.

- Tapia, C.G. ve Murtagh, B.A. (1991). Interactive fuzzy programming with preference criteria in multiobjective decision making. *Computers and Operational Research*, 18, 307-318.
- Tiong, R.L.K. (1996). CSFs in competitive tendering and negotiation model for BOT projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(3), 205-211.
- Tiong, R. L. K. ve Alum, J. (1997). Financial commitments for BOT projects. *International Journal of Management*, 15 (2), 73-78.
- Tummala, R. ve Burchett, J.F. (1999). Applying a risk management process (RMP) to manage cost risk for an EHV transmission line project. *International Journal of Project Management*, 17(4), 223-235.
- Uğur, O. (1993). Yap-İşlet-Devret girişim modelinin hukuksal yönü ve ekonomik ve mali etkileri. *1993 Yılı Hesap Uzmanları Kurulu Konferansları IV*, Ankara: Maliye Bakanlığı Yayınları.
- Vazquez, F. ve Allen, S. (2004). Private sector participation in the delivery of highway infrastructure in central America and Mexico. *Construction Management and Economics*, 22(7), 745-754.
- Wang, L. ve Singh, C. (2007). Environmental/economic power dispatch using a fuzzified multi-objective partial swarm optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 77(12), 1654-1664.
- Wang, S. Q.; Dulaimi, M.F. ve Aguria M.Y. (2004). Risk Management Framework for Construction Projects in Developing Countries. *Construction Management and Economics*, 22(3), 237-252.
- Wibowo, A. (2005). Estimating general threshold traffic levels of typical build, operate and transfer toll road projects in Indonesia. *Construction Management and Economics*, 23(6), 621-630.
- Wibowo, A. ve Kochendorfer, B. (2005). Financial risk analysis project finance in Indonesian toll roads. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(9), 963-972.
- Wright, A.H. (1991). *Genetic algorithm for real parameter optimization. Foundations of Genetic Algorithm*. (Ed. Morgan Kaufman ve San Mateo) USA: G.E.J. Rawlings California, s. s. 205-218.

- Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü (2012). *Dünyada ve Türkiye’de Kamu-Özel İşbirliği uygulamalarına ilişkin gelişmeler*. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.
- Ye, S. ve Tiong, R.L.K. (2003). The effect of concession period design on completion risk management of BOT projects. *Construction Management and Economics*, 21(5), 471-482.
- Yeniay, Ö. (2001). An overview of genetic algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (1), 37-49.
- Yücenur, G.N. (2011). *Optimizasyon problemlerinin çözümünde melez metasezgisel bir algoritmanın tasarımı*. Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Yüzer, M. (2007). *Enerji sektöründe Yap İşlet Devret modelinin diğer finans modelleri ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Zadeh, L.A (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 8 (3), 338-353.
- Zhang, X.Q. (2005). Financial viability analysis and capital structure optimization in privatized public infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(6), 656-668.
- Zhang, X.Q. ve Li, H. (2007). MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11( 6), 1-20.
- Zhang, X.Q.; Kumaraswamy, M.M.; Zheng, W. ve Palaneeswaran, E. (2002). Concessionaire selection for build-operate-transfer tunnel projects in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), 155-163.
- Zitzler, E.; Deb, K. ve Thiele, L. (2001). Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results. *IEE Trans On Evolutionary Computation*, 8(2), 173–195.

#### **İnternet Kaynakları:**

- Gass, S.I. (2000). Making decisions with precision. *Business Week October 30*, [http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign\\_id=search#B37051](http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B37051) (Erişim tarihi: 01.02.2010)
- İmre, E. (2001). Türkiye’de Yap-İşlet-Devret modeli; yasal çatısı, uygulaması. *Yüksek Denetleme Kurulu*. [http://www.ydk.gov.tr/seminerler/turkiyede\\_yid\\_modeli.htm](http://www.ydk.gov.tr/seminerler/turkiyede_yid_modeli.htm) (Erişim tarihi:03.06.2011)

- Kuran, F. (2012). Türkiye’de proje finansmanın gelişimi ve PPP. <http://www.dinamo.co/default.aspx?pid=53502&nid=64326> (Erişim Tarihi: 07.09.2011)
- Resmi Gazete, 13.06.1994. Sayı: 21959. Bazı yatırım ve hizmetlerin yap-işlet-devret modeli çerçevesinde yaptırılması hakkında kanun. Kanun Tertip: 5 <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/>
- Tekin, G.A (2008). Kamu Özel İşbirlikleri / Ortaklıkları PPP Modelleri. <http://www.oib.gov.tr/baskanlik/aligunertekin.pdf> (Erişim tarihi: 03.06.2011)
- Truong, G.; Patrgngton, G. ve Peat, M. (2004). Cost of capital estimation and capital budgeting practice in Australia. <http://www.afaanz.org/web2005/papers/partingtong-FIN.pdf> (Erişim tarihi: 15.01.2009)
- Türkay, M. (2011). Optimizasyon modelleri ve çözüm metotları. <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf> ( Erişim tarihi: 04.03 2011)
- Understanding Evolution: Mutations <http://evolution.berkeley.edu./evosite/evo101/IIIC1Mutations.shtml> (Erişim tarihi: 09.10. 2011)
- Walters, C. ve Giles, T. (2000). Using real options in strategic decision making. Spring. [http://mba.tuck.dartmouth.edu/paradigm/spring2000/articles/walters-decision\\_making](http://mba.tuck.dartmouth.edu/paradigm/spring2000/articles/walters-decision_making) (Erişim tarihi: 09.07.2011)
- <http://tdkterim.gov.tr/bts/> (Erişim tarihi: 24.06.2011)
- .....(2011). Bazı yatırım ve hizmetlerin kamu kesimi ile özel sektör işbirliği modelleri çerçevesinde gerçekleştirilmesine ilişkin kanun tasarısı taslağı. Madde 8/2. <http://www.ekutup.dpt.gov.tr/haber/ahd/ahd/taslak.pdf> (Erişim tarihi:03.04.2011)