



2014.02.02.OR.01

ÖZEL SEKTÖR ŞİRKETLERİ İÇİN YİD İHALE PROBLEMİNİN ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU

Elif ACAR *

Hasan DURUCASU †

PhD, Anadolu University, Eskişehir

Prof. Dr., Anadolu University, Faculty of Economics and Administration, Eskişehir

Received: 26 August 2014

Accepted: 11 December 2014

Özet

Bugün dünyada pek çok projede Yap İşlet Devret (YİD) proje finansman modelinin sıklıkla kullanıldığını gözlemlemekteyiz. YİD ihalesini kazanmak isteyen proje şirketinin başarısı için kilit görüş, YİD sözleşmesi gereğince ilişkide olduğu tarafların beklentileriyle uyumlu finansal bir paket hazırlamasıdır. Proje şirketinin belirleyeceği özsermaye borç oranı, imtiyaz (çalışma) süresi ve ürün/hizmetlerin birim fiyatları önemli finansal karar değişkenleridir. Proje şirketinin ihaleyi kazanma potansiyeli ve borç bulma potansiyeli iki farklı ihale hedefidir. Çalışmanın amacı, bu hedefleri içeren finansal optimizasyon modelini sunmaktır. Çok amaçlı evrimsel algoritma ile çözümlenen model, pareto çözümler kümesi sunarak, iki çelişen amaç arasındaki değişimi değerlendirmede karar vericilere yardımcı olmaktadır. Modelin uygulaması için Türkiye'deki bir havaalanı YİD projesi verileri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yap İşlet Devret, Finansal Optimizasyon, Evrimsel Algoritma, Çok-amaçlı Model, Pareto-Optimal

Jel Kodu: C61, D22, C39

Abstract

Today, around the world, Build-Operate-Transfer (BOT) project finance model is used frequently in numerous projects. One key aspect to the success of project company who wishing to gain BOT tender is to prepare a financial package consistent with the expectations of the related participants in accordance with BOT contract. The debt to equity ratio, the concession length and the unit prices are the important financial decision variables to be determined by the project company. The objective of this paper is to present financial optimization model including two different procurement objectives; (1) potential of winning a BOT project and (2) potential of finding debt. The optimization model solved by multi-objective evolutionary algorithm generate a set of pareto solutions to help project company assess the trade-offs between the two competing objectives. To show application of the model, a real airport YİD project in Turkey study is conducted.

Keywords: Build Operate Transfer, Financial Optimization, Evolutionary Algorithm, Multi-objective Model, Pareto-optimal

Jel Code: C61, D22, C39

* elifacar@anadolu.edu.tr (Corresponding author)

† hdurucasu@anadolu.edu.tr

1. Giriş

YİD modeli, devletin bütçe olanaklarıyla karşılanamayan yol, su, elektrik, havaalanı vb. alt yapı projelerinin maliyetlerinin proje şirketi (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. Özel sektör şirketleri markalaşmak ve itibarını yükseltmek, uygun kâr seviyesi kazanmak, uzun dönem kâr sağlamak için ve anlaşmanın itibarlı olması sebepleriyle bu tip projelere katılmak istemektedirler. Bundan dolayı, bu çalışmada YİD ihalesine katılmak isteyen proje şirketi açısından hedeflenen ana ihale amaçlarından biri, ihale kazanma olasılığının (potansiyelinin) artırılmasıdır. Diğer taraftan YİD projeleri büyük finansman gerektiren yatırımlardır ve proje şirketi gerekli borcu bulabilmek için kredi kurumlarını ikna etmek durumundadır. Proje finansmanına göre, proje şirketi sponsorlardan ayrı bir tüzel kişilik olarak ortaya çıkar [3]; alınan krediler, projeye finansal destek sağlayanların (sponsorların) kredi değerliliğine ve/veya sahip olunan fiziksel varlıkların değerine bağlı olmayıp, projenin kendi performansına bağlıdır. Böylece kullanılan kredilerin geri ödenmesine kaynak olarak, projenin nakit akışları borç veren kuruluşlar açısından önem taşımaktadır [13]. Bundan dolayı hedeflenen diğer ihale amacı proje şirketinin borç bulma potansiyelinin artırılmasıdır.

Finansal analiz kapsamında, YİD projesinin yatırım değerlendirmesi yapılırken farklı tarafların kendine özgü çıkarları gözetilmelidir. Proje şirketi, hükümetin ve borç veren kuruluşun beklentilerini tatmin etmek durumundadır. Proje şirketinin kendi yönetim yeteneği içinde değiştirebileceği ana unsurlar özsermaye seviyesi, proje çalışma süresi ve ürün/hizmet birim satış fiyatıdır ve bu unsurlar YİD taraflarının beklentilerini belirleyici unsurlardır ve çalışma kapsamında karar değişkenleri olarak ele alınmıştır [9]. YİD ihalelerinde proje şirketinin isteği; düşük seviyede özsermaye/borç oranı [2], uzun çalışma süresi ve yüksek ürün/hizmet birim satış fiyatıdır [13]. Bunun aksine, hükümet kuruluşunun proje şirketinden beklentileri; yüksek seviyede özsermaye, kısa çalışma süresi ve düşük ürün/hizmet birim satış fiyatıdır [20]. Yine proje şirketinin arzusunun aksine, borç veren kuruluşun proje şirketinden beklentileri; yüksek seviyede borç-servisi karşılama oranıdır [7,17]. Tüm bunlar proje şirketinin beklentileri açısından birbiriyle çelişen nitelikte amaçlardır. YİD ihalesini kazanmak isteyen proje şirketi, projenin finansal değerlendirmesini yaparken, belirli bir kâr marjı altında nakit akışlarını değiştiren çalışma süresi, özsermaye oranı ve birim hizmet/ürün fiyatı/tarifesi değişkenlerinin optimal değerlerini aramalıdır [10].

Örneğin, proje şirketi borç servis kapasitesini artırmak ya da daha yüksek bir kâr oranı için daha yüksek ürün/hizmet birim fiyatını tercih edebilmesine rağmen, bu hükümet tarafından kabul edilmeyebilir, Çünkü hükümetin hedefi sağlanacak hizmetleri tüketicilere en düşük fiyatla sunmaktır [1]. Ve hükümet kuruluşu kamu baskılarından dolayı, şirketin kabul edilebilir düzeyin üzerinde fiyat/tarife düzeyi belirlemesine izin vermemektedir [20]. Aynı şekilde, proje şirketi çalışma süresini uzun tutarak kârlılığını artırmak isterken çalışma dönemini takiben, hükümet kuruluşu bir YİD projesinin kalan ekonomik ömrü boyunca finansal bir kayıpla yüzleşmemelidir ve hükümet proje şirketinin aşırı kâr sağlamasını istemediğinden kısa çalışma süresine sahip projeleri tercih etmektedir [9]. Öte yandan çalışma süresi kısaldığında, proje şirketi öngörülen kâr seviyesini korumak için alternatif gelir rotası (örneğin daha yüksek düzeyde birim ürün/hizmet fiyatı oranı dikkate alınarak) benimsemek zorundadır.

Borç veren kuruluş açısından, proje şirketinin, kredi risklerini azaltan yüksek borç servis karşılama oranına (vergi sonrası nakit akışı/borç, DSCR) sahip olması gereklidir. Diğer şartlar aynı kaldığında, öz sermaye belirli bir seviyeye kadar arttığında borç yükümlülüğü azalır ve borç servisi karşılama oranı yükselmektedir [2]. Borç veren kuruluşların bakış açısına göre, projenin yüksek seviyede özsermayeye sahip olması daha düşük riski temsil eder [17]. Fakat özsermaye maliyeti borç maliyetinden daha yüksek olduğundan proje şirketi borçlanarak kaldıraç etkisinden yararlanmak isteyecektir ve özsermaye/borç oranını düşük tutma eğiliminde olacaktır. İhale

sürecinde, ilgili hükümet kuruluşu da finansal teklifleri değerlendirirken daha yüksek özsermaye/borç oranına sahip projeleri tercih etmektedir. Bundan dolayı, uygun dengedeki bir özsermaye ve borç miktarı, önemli proje ortaklarının farklı finansal amaçlarını gerçekleştirmek için özellikle gereklidir.

Yukarıdaki tartışmalara göre bir YİD projesi sözleşmesinde karar değişkenlerinin optimal değerlerinin ihaleyi kazanmak adına güvence altına alınması ve dış borç araştırılması ihtiyacı proje şirketi için eşit öneme sahip olduğuna göre, bu koşul altında, ihale hedeflerinin her ikisinin eş zamanlı başarılması, belirli kısıtların tatmin edilmesine ve karar değişkenlerinin en iyi değerlerinin seçilmesi hakkında karar verilmesine bağlıdır. Amaçlar çakışan amaçlar olduğundan bu iki amacın dengelenmesi ihtiyacı YİD projesi ihale probleminin çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle edilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla bu bakış açısı proje şirketinin ihale hedeflerine ulaşmasını tanımlamaktadır.

Yatırım projelerinin değerlendirilmesi konusunda kullanılan farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Fakat ülkemizde kullanılan bu geleneksel yaklaşımlar 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.

Araştırma motivasyonu: Ülkemizde proje şirketi açısından YİD ihale problemleri hala yeterince araştırılmamıştır. Proje şirketine yardımcı olmak için karar değişkenlerinin YİD projesinin nakit akışları üzerindeki kombine etkisini açıkça araştırmak gerekmektedir. Bu çalışmada proje şirketi ve proje şirketinin farklı ihale hedefleri ele alınarak bütün çelişen finansal çıkarılara yönelik bazı yenilikçi finansal modeller aranmaktadır.

Uluslararası düzeyde güncel çalışmalar YİD projelerinin finansal analizinde optimizasyon problemlerinin çözüm aracı olarak yaygın olarak genetik algoritma tabanlı yöntemler kullanmışlardır (Bakınız; [22,11,14]). Proje şirketi ihale aşamasında olduğundan zaman kısıtlıdır ve çözüm ve uygulama için hızlı bir algoritmaya gereksinim duyulmaktadır. Diferansiyel Evrim (DE) algoritması hızlı bir algoritmadır. Ayırıştırma Dayalı Komşuluk Tabanlı Diferansiyel Evrim Algoritmasının (MOEA/D-DE) hesaplama karmaşıklığı yönünden genetik algoritma tabanlı yöntemlerden üstünlüğü ve pareto cephesi sağlamadaki yeteneği saptanmıştır [16]. Çok amaçlı bu evrim algoritması kullanım kolaylığı ve hızlı bir algoritma olması sebebiyle optimizasyon modelinin çözüm aracı olarak seçilmiştir. Çok amaçlı model için bulanık bir yaklaşımla Pareto çözümler kümesinden “tatminkâr en iyi çözüm” seçilmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada finansal karar değişkenleri arasındaki ilişkilerin matematiksel olarak ifade edilmesi ve proje şirketi bakış açısından hükümetin ve borç veren kuruluşun beklentileriyle uyumlu finansal optimizasyon modellerin türetilmesi için basitliği ve uygulama kolaylığı sebebiyle indirgenmiş nakit akışı analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Burada kısaca aşağıdaki denklemlere yer verilmiştir.

$$NPV^S = -\sum_{i=1}^{CP} \left\{ \frac{e^x TM}{(1+r)^i} \right\} + \sum_{j=CP+1}^{SOP} \left\{ \frac{NNA_j^S}{(1+r)^j} \right\} \quad (1)$$

NPV^S , projenin net bugünkü değeri; TM , toplam proje maliyeti; CP , yapım dönemi; j , proje çalışma süresi için indis; r , indirgeme oranı (sermaye maliyeti); e , özsermaye seviyesi; SOP , proje çalışma süresi; NNA , yıllık net nakit akışıdır.

$$\sum_{i=1}^{CP} \left\{ \frac{e \times TM}{(1+IRR^S)^i} \right\} = \sum_{j=CP+1}^{SOP} \left\{ \frac{NNA_j^S}{(1+IRR^S)^j} \right\} \quad (2)$$

IRR, projeden beklenen iç getiri oranıdır. Net bugünkü değerın sıfıra eşit olduğu iskonto oranıdır. (Denklemler ve net nakit akışı hesaplamaları hakkında ayrıntılı bilgi için bakınız [6]).

Önemli Varsayımlar:

- İndirgenmiş nakit akışı yöntemi en iyi proje değerlendirme kriteridir.
- YİD modelinde özsermaye/borç oranı, proje çalışma süresi ve tesisten üretilen hizmetlerin birim tarife/fiyat değişkenleri önemli karar değişkenleridir.
- Toplam proje kapitali borç ve öz sermayeden oluşmaktadır. Ticari bankalardan alınan krediler borcu temsil ederken, sponsorların nakit katkısı öz sermayeyi temsil etmektedir. Tek bir kaynaktan borç-kredi sağlanacaktır [2].
- Net nakit akışının işareti sadece bir kez değişir, böylelikle projenin İç Getiri Oranı (IRR) tek bir değerdir, farklı IRR oranları yoktur [2].
- Doğrusal amortisman modeli kullanılmıştır. Çalışma dönemi boyunca toplam proje maliyetinde tam amortisman dikkate alınmaktadır [9].
- Evrimsel algoritmalar, modern ve etkili bir optimizasyon yöntemidir.
- Çok amaçlı optimizasyonda en iyi çözüme “tatminkâr en iyi çözümle” ulaşılabilir.

2.1. İhale Hedeflerinin Modellenmesi

Önerilen çok amaçlı YİD proje ihale optimizasyon problemi, iki ihale hedefiyle eş zamanlı ilgilenilmesini amaçlamaktadır: (1) ihale kazanma potansiyelinin maksimize edilmesi; (2) borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi. Bu iki önerilen çok amaçlı optimizasyon probleminin amaç fonksiyonlarının açık matematiksel ifadeleri aşağıda gösterilmiştir.

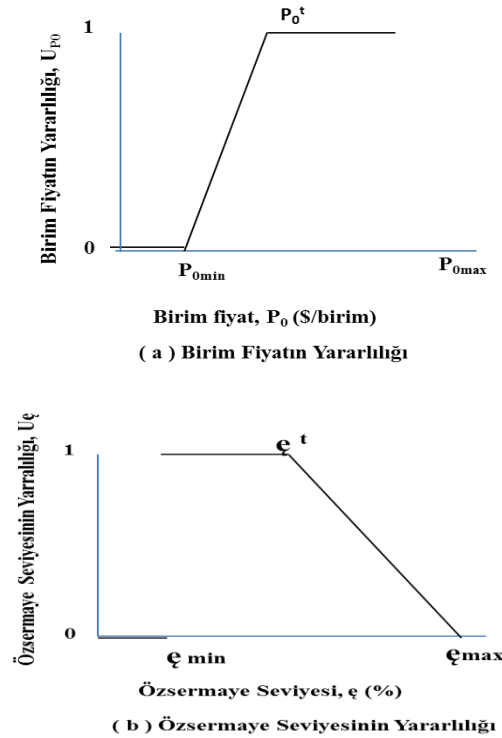
İhale Kazanma Potansiyelinin Maksimize edilmesi

İstenilen bir kâr seviyesi için, birim hizmet fiyatlarının, çalışma süresinin ve özsermaye oranının çeşitli kombinasyonları ile proje şirketi için farklı net bugünkü değerler (NPV) elde edilebilir. Hükümetin beklentileri dikkate alınarak proje şirketinin ihale kazanma potansiyelini maksimize etmeye yol gösteren rahat bir özsermaye düzeyi ile birim fiyatların ve çalışma 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'ın 2008'deki çalışmasından esinlenerek oluşturulmuştur. BWI, proje şirketinin çalışma süresinin birim yılında nakit akışlarının şimdiki net değerlerini birim fiyatlara oranlayan indeksi gösterir. Diğer bir anlatımla ihale kazanma olasılığının maksimize edilmesi, proje şirketinin çalışma döneminin birim yılındaki kârlılığını birim fiyatlara oranlayan oranın maksimize edilmesi yoluyla elde edilebilir.

$$\text{Maksimum BWI} = \left(\frac{NPV^S \times \bar{U}}{P_D \times P_I \times SOP} \right) \quad (3)$$

Denklem 3, açıkça karar değişkenlerinin (çalışma süresi (SOP), yurtiçi birim yolcu tarifesi/fiyatı (PD), yurtdışı birim yolcu fiyatı (PI) ve öz sermaye seviyesi (e)) uygun değerlerine bağlı olan amaç fonksiyonunu gösterir. Amaç fonksiyonu incelendiğinde; proje şirketi bakış açısından bir taraftan kârlılığını artıracak NPV

değerini maksimum yapan karar değişkenleri belirlenirken, diğer taraftan hükümet kuruluşuna cazip bir finansal teklif sunabilmek için birim fiyatların ve çalışma süresinin ne dereceye kadar azaltılabileceği araştırılmaktadır. Proje şirketi açısından özsermaye seviyesinin ve hizmet fiyatlarının belirli aralıklardaki yararlılığını modele yansıtmak için basit bir fayda fonksiyonu (\bar{U}) dahil edilmiştir [9]. Şöyle ki proje şirketi, birim fiyatın minimum değerini belirli değere kadar arttırarak kârlılıklarını arttırabilirler. Bu belirli değer, ihaleyi kaybetme riskinin olmadığı bir geçiş değeridir. Birim fiyatların, belirlenen bu geçiş değerlerinden daha da arttırılması kârlılığı arttırır fakat yüksek birim fiyatlar hükümete cazip gelmeyebilir. Birim fiyatın yararlılığı Şekil 1 (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 proje şirketinin kârlılığını artırır. Ancak, proje şirketi YİD proje sözleşmesini kaybetme tehlikesi altında kendini güvensiz hissedebilir yani birim fiyattaki aşırı bir artış, hükümetlerin beklentileri ile uyumlu olmayabilir. Benzer mantık öz sermaye düzeyinin yararlılığı için de geçerlidir. YİD projelerinin ihale hükümlerine göre, proje sponsorlarının genellikle, en azından öz sermayenin belirli bir miktarına katkıda bulunması gerekir. Pahalı bir kaynak olan öz sermaye dikkate alındığında, asgari düzeydeki özsermaye proje şirketi için maksimum değerde (1) yarar sağlar. Buna karşın, proje şirketi genellikle hükümet kuruluşuna finansal taahhütlerini göstermek ve kazanma potansiyellerini geliştirmek için, öz sermaye seviyelerini belirli bir aralığa yükseltirler. Bu yüksek limit Şekil 1 (b)'de gösterilmiştir. Özsermaye seviyesini bu aralıktan daha yüksek seviyede belirlemek sponsorların kârlılığını azalttığı için yararlılığı kademeli olarak azaltılır.



Şekil1. Birim Fiyatların ve Özsermaye Seviyesinin Yararlılıkları [9]

Aşağıdaki eşitlikler, birim fiyatlar ve özsermaye seviyesinin yararlılıklarını matematiksel olarak ifade etmektedir [9].

$$U_{P_0} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } P_0 \leq P_{0 \min} \\ \frac{P_0 - P_{0 \min}}{P_0^t - P_{0 \min}} & \text{eğer } P_{0 \min} < P_0 < P_0^t \\ 1 & \text{eğer } P_{0 \max} \geq P_0 \geq P_0^t \end{cases}$$

$$U_{\epsilon} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \epsilon_{\min} < \epsilon \leq \epsilon^t \\ \frac{\epsilon_{\max} - \epsilon}{\epsilon_{\max} - \epsilon^t} & \text{eğer } \epsilon^t < \epsilon < \epsilon_{\max} \\ 0 & \text{eğer } \epsilon \geq \epsilon_{\max} \end{cases}$$

U_{P_0} , yurtiçi ve yurtdışı birim fiyatın yararlılığı; U_{ϵ} , özsermaye seviyesinin yararlılığı; ϵ^t ve P_0^t , geçiş değerleridir. Birim fiyatların ve öz sermaye seviyesinin ağırlıklı ortalama yararlılığı aşağıdaki Denklem 4'te ele alındığı gibidir:

$$\bar{U} = \frac{(W_{DP_0} U_{DP_0} + W_{IP_0} U_{IP_0} + W_{\epsilon} U_{\epsilon})}{(W_{DP_0} + W_{IP_0} + W_{\epsilon})} \quad (4)$$

W_{DP_0} , W_{IP_0} ve W_{ϵ} , yurtiçi, yurtdışı birim fiyatın ve özsermaye seviyesinin yararlılığının göreceli önemi temsil eden ağırlık faktörüdür. Bu değerleri proje şirketi belirler.

Borç Bulma Potansiyelinin Maksimize Edilmesi

Proje şirketinin nakit akışlarının yüksek bir DSCR (vergi sonrası nakit akışı/borç) oranına sahip olması borç verenler için gereklidir. Çünkü borç verenler yüksek seviyeli öz sermayenin sponsorların mülkiyet düşüncelerini arttıracığına ve projenin başarılı olarak tamamlanması için proje şirketinin daha arzulu olacağına inanmaktadırlar [23]. Düşük bir DSCR oranı borç bulma olasılığını azaltır.

Bir YİD projesi için borç bulma indeksinin (LAI) maksimizasyonu hedeflenen ihale optimizasyon modelinin diğer amaç fonksiyonudur. Bu amaç fonksiyonu Denklem 5'te tanımlanmaktadır.

$$MAX LAI = DSCR_{avg} * U_{\epsilon} \quad (5)$$

Basit bir finansal performans ölçümü olan borç bulma indeksi (LAI) kullanılmıştır. Bu finansal performans ölçümü, projenin borç karşılama kapasitesinin ölçülmesine yardım etmektedir. Borç bulma indeksi (LAI), ortalama borç servisi karşılama oranının (DSCR_{avg}) (borç geri ödeme dönemindeki) özsermaye yararlılığıyla çarpılması olarak tanımlanmaktadır. Proje şirketi bir yandan borç bulmak için yüksek özsermayeye gereksinim duyarken bir yandan da özsermaye maliyetine katlanmak zorunda olduğundan, özsermaye yararlılığı modele dâhil edilmiştir. Minimum düzeydeki özsermaye maksimum (1) yarar sağlamaktadır ve özsermayenin giderek artırılması yararlılığını azaltmaktadır. Proje şirketi açısından yüksek bir LAI indeksi değeri, borç bulma ihtimali için daha iyi olmaktadır.

Kısıtlamalar

Denklemlerdeki 3 ve 5'teki amaç fonksiyonları aşağıdaki kısıtlamalara tabidir [9]:

Finansal kapasite: Bir YİD projesinin finansal kapasitesinin yeterli olması için, projenin nakit akışlarının net bugünkü değeri, (NPVs) pozitif ya da en azından sıfır olmalıdır. $NPV^S \geq 0$

Finansal sürdürülebilirlik: Proje şirketi açısından şirketin çalışma süresinin (SOP) her yılı boyunca negatif para akışı olmaması projenin sürdürülebilir olduğunu gösterir. $NNA_{j+1}^S \geq 0$

Kârlılık: Proje şirketinin kârlılığını belirli bir seviyede tutmak için IRR oranından faydalanılmaktadır. Proje şirketinin beklenen kârının (IRRS) belirli en yüksek limitinde olması gerektiği $IRR^S \leq IRR_U^S$ ile sağlanmıştır. 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 sayılmaktadır [2]. Ortalama borç servisi karşılama oranının belirli bir değerden az olmaması gerektiği $DSCR_{avg} \geq \tau$ ile sağlanmıştır. $DSCR_{avg}$, borç geri ödeme süresince borç servisi karşılama oranının ortalaması; τ , borç servisi karşılama oranının alt limitidir.

Hükümet kuruluşu için finansal dönüş: Proje şirketinin hükümete devrinden sonra hükümet kuruluşunun nakit akışlarının net bugünkü değeri, yani, NPVG pozitif olmak zorundadır [10]. Hükümet kuruluşu tesisi devraldıktan sonra kazanç elde etmede endişe duymaktadır. Bu sebeple, $NPV^G \geq 0$ pozitif NPVG sağlamaktadır.

Karar değişkenleri için aralık kısıtlamaları: Karar değişkenlerinin değerlerinin verilen sınırlar içinde bulunması sağlanır.

$$\begin{aligned} OP_{max} \geq SOP \geq OP_{min}, \quad P_{D,max} \geq P_D \geq P_{D,min}, \quad P_{I,max} \geq P_I \geq P_{I,min}, \quad \epsilon_{max} \geq \epsilon \geq \epsilon_{min} \end{aligned} \quad (6)$$

Kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde Evrimsel Algoritmalar (EA) doğrudan uygulanamaz, çünkü EA sadece amaç fonksiyonu ile çalışır [12]. Ceza fonksiyonları kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümünde en çok kullanılan stratejidir. Bu çalışmada uygulamalarda çok fazla karşılaşılan bir ceza stratejisi benimsenmektedir. Amaç fonksiyonu uyumluluk değerleri sınırlılıkların ihlalinin büyüklüğüne göre aşağıdaki Denklem 7 ile cezalandırılmış olur. Uygun çözüm alanına girmeyen çözümlere, çözüm alanına uzaklığı ölçüsünde amaç fonksiyonuna negatif etki edecek şekilde değer aldırılır.

$$P(x) = \sum_{i=1}^m (R_i * g_i^2(x)) \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemde P(x), ceza fonksiyonunu, "m" terimi kısıt sayısını, "Ri" terimi i'inci kısıt ceza parametresini, "gi" terimi i'inci kısıtın sağlanmama miktarını ifade eder. "gi" negatif olduğunda operandın karesi alınır, aksi takdirde P(x) sıfır olarak kabul edilir.

Amaç fonksiyonu içine ceza teriminin dâhil edilmesiyle, BWI ve LAI uyum fonksiyonları aşağıdaki Denklem 8 ve 9'da tanımlanır:

(k.d) = [ϵ, P_D, P_I, SOP]^T karar değişkenlerinin vektörüdür. (k.d: karar değişkenleridir.)

$$Maksimum BWI(k.d) = \left(\frac{NPV^S x \bar{U}}{P_{Dx} P_{Ix} SOP} \right) - P(x) \quad (8)$$

$$Maksimum LAI(k.d) = DSCR_{avg} * U_{\epsilon} - P(x) \quad (9)$$

Yukarıda verilmiş olan YİD proje ihalesi için geliştirilen çok amaçlı optimizasyon problemi (bakınız Denklem 6-7) kısıtlamalara bağlı olarak [BWI(k.d), LAI(k.d)]^T 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,

proje şirketi çalışma süresi ayrık bir değişken iken birim fiyatlar ve özsermaye düzeyi sürekli değişkenlerdir. Bu nedenle, referans optimizasyon modeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon problemi haline dönüşür. Fayda fonksiyonunun modele dahil edilmesiyle de problem kompleks yapıda olmaktadır. Evrimsel algoritmalar böyle problemlerin çözümünde iyi olarak bilinmektedir [8].

2.2. Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde öncelikle doğrusal modellemeler kullanılmış, ancak bu yöntemler, kompleks optimizasyon problemlerinin çözümü için yeterli olmadığı görülmüştür ve son zamanlarda, Evrimsel Algoritmalar (EA) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [18]. Doğadaki evrim sürecine dayalı olarak modellenmiş olan bu algoritmalar özellikle yüksek dereceden doğrusal olmayan problemlerin çözümünde alternatif sağlamıştır [5]. EA, problemin matematiksel denklemlerinin çözümünüyle ilgilenmeden, çözümler kümesi üzerinden yola çıkan ve bu çözümleri doğal seçim ilkelerine göre işleyen, çeşitlendiren, doğal genetik mekanizmasına dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. EA en iyi çözümü garanti etmeksizin daha az çözüm zamanı ile en iyiye yakın bir çözümü hedefleyen sezgisel arama stratejisidir [12].

Bu çalışmada, proje şirketinin, hükümetle ve borç veren kuruluşla çakışan amaçları vardır ve bu amaçları eş zamanlı optimize eden karar değişkenlerinin optimal bileşimini sağlayan çözümlerin elde edilmesi gerekir. EA uygun çözümlerin bir dizisini eş zamanlı keşfetmektedir. Böylelikle bu yöntemler, matematiksel programlama yöntemlerinin aksine algoritmanın tek bir çalıştırılmasıyla, en azından yaklaşık olarak, Pareto Optimal çözümlerin genel bir seti için arama sağlamaktadır [16]. Bu çalışmada Pareto optimal çözümler kümesini elde edebilmek için Ayrıştırılmaya Dayalı Komşuluk Tabanlı Diferansiyel Evrim (MOEA/D-DE) algoritması kullanılmıştır. (Algoritmanın çalışma prensipleri için bakınız [15])

Pareto-Optimal Çözüm

Çok amaçlı optimizasyon problemi (MOP) aşağıdaki gibi ifade edilebilir [15];

$$\text{MIN/MAX } fx = [f_1(x), \dots, f_m(x)]^T \quad x \in \Omega \quad (10)$$

$x = (1, \dots, n)$ karar değişkenleri vektörüdür. $f_i(x)$, amaç fonksiyonlarını temsil etmektedir. Ω , çözüm uzayıdır. Çok amaçlı minimizasyon probleminde, x^1 çözümünün x^2 çözümüne baskın olabilmesi sadece ve sadece her bir $i \in \{1, \dots, m\}$ için, $f_i(x^1) \leq f_i(x^2)$ durumunda mümkündür ve $f_i(x^1) < f_i(x^2)$ ancak en az bir $j \in \{1, \dots, m\}$ indiste olduğunda mümkündür. Eğer $f(x)$ 'in $f(x^*)$ 'e baskın olduğu bir $x \in \Omega$ noktası yoksa $x^* \in \Omega$ noktası Pareto optimal durumdadır [15].

Pareto-Optimal çözüm; amaçların herhangi biri için en kötü olmayan ve en azından bir amaç için diğerlerinden daha iyi olan çözümdür [18]. Diğer bir ifadeyle çözüm kümesindeki diğer herhangi bir çözüm tarafından bastırılmamış olan çözümdür. 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 (Pareto-Front) denir [4].

Tatminkâr En İyi Çözüm (BCS)

Çok amaçlı evrimsel algoritma kullanılarak YİD projesi ihale optimizasyon modeli eşit olarak iyi çözümlerin bir setini (Pareto Front) sağlar. Proje şirketi, Pareto-optimal çözümleri kullanarak, YİD projesinin ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin maksimize edilmesi arasında Trade-offs (değişim)-değerlendirme yapabilirler. Hangi çözümün seçileceği, yönetimin vereceği bir karar olmaktadır. Seçilecek bu tekil çözüme “tatminkâr-uzlaşmış en iyi çözüm” (BCS) denilmektedir. Bu tekil çözüm karar vericilerin sezgilerine dayanmaktadır. Literatürde bu tekil çözümün nasıl belirleneceği ile ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, pareto optimal çözümlerden tatminkâr en iyi çözümün (BCS) bulunmasında basit bir bulanık yaklaşım kullanılmıştır. Aynı tekniği daha önce Tapia ve Murtagh, (1991); Wang ve Singh, (2007); ve Islam, (2008) uygulamışlardır. Denklem 11’deki doğrusal bulanık üyelik fonksiyonu, pareto optimal çözüm kümesindeki baskın olmayan bir çözümün belirli bir amaç fonksiyonunu tatmin etme başarısının derecesini ölçmektedir [21],

$$\mu = \begin{cases} 0 & F_i < F_i^{min} \\ \frac{F_i - F_i^{min}}{F_i^{max} - F_i^{min}} & F_i^{min} \leq F_i \leq F_i^{max} \\ 1 & F_i > F_i^{max} \end{cases} \quad (11)$$

F_i , i ’inci amaç fonksiyonunun değeridir, $i=1..,m$ amaç fonksiyonları için indis, $k=1..,s$ çözüm için indis, F_i^{max} , i ’inci amaç fonksiyonunun maksimum değeridir, F_i^{min} , i ’inci amaç fonksiyonunun minimum değeridir. μ , pareto optimal çözüm kümesindeki belirli bir baskın olmayan çözüm için i ’inci amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonudur. Denklem 12’deki üyelik fonksiyonu baskın olmayan bir çözümün tüm başarısını tespit eder [21].

$$\mu^k = \frac{\sum_{i=1}^O \mu_i^k}{\sum_{k=1}^S \sum_{i=1}^O \mu_i^k} \quad (12)$$

Denklemdaki “O”, amaç fonksiyonlarının sayısı; “S”, baskın olmayan çözüm sayısıdır; (pareto kümesindeki noktalar) ve “ μ^k ”, Pareto optimal çözüm kümesindeki k ’inci baskın olmayan çözüm için normalize edilmiş üyelik fonksiyonudur. Denklem 12’deki üyelik fonksiyonu, baskın olmayan çözümlerin bulanık öncelik sıralamasını belirtir. Böylelikle, tatminkâr en iyi çözüm (BCS), μ^k üyelik fonksiyonu maksimum olan çözümdür [21].

3. Bulgular

Proje şirketinin çok amaçlı ihale optimizasyon model sonuçlarını değerlendirmek için, YİD projesi verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerle, indirgenmiş nakit analizi yöntemi kullanılarak finansal optimizasyon modelleri kurulmuştur. Aşağıdaki Tablo 1’deki veriler Türkiye’deki bir havaalanı projesinin yatırım parametrelerinin değerlerini göstermektedir.

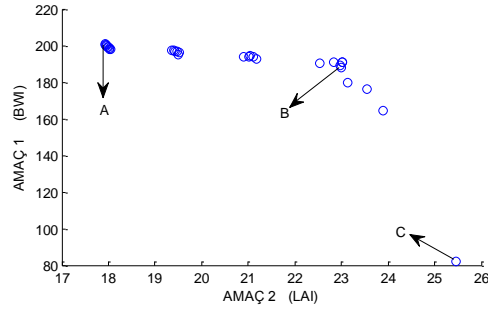
Tablo 1. Yatırım Parametreleri

Proje Karakteristikleri	Deterministik Değerler
Max çalışma süresi	49 yıl
Yapım dönemi (CP)	2 yıl
Kredi geri ödeme dönemi	15 yıl
Kredi faiz oranı (rb)	%7
Enflasyon oranı (rh)	%4
Vergi oranı (rt)	%11
İndirgeme oranı (r)	%10
Yatırım maliyeti (TM)	438.276.878 €
Yurtiçi Yolcu Sayısı (1. 6 ay)	1.592.360 kişi
Yurtiçi Yolcu Sayısı (2. 6 ay)	1.452.585 kişi
Yurtdışı Yolcu Sayısı (1. 6 ay)	430.655 kişi
Yurtdışı Yolcu Sayısı (2. 6 ay)	367.477 kişi
Fiyat değişimleri	Sabit
Yolcu Artış Hızı(Talep)	Her yıl ve ay için farklı

Birim fiyatlar ve sermaye düzeyi için geçiş-eşik değerleri sırasıyla yurtiçi birim ücret için 2.7 €, yurtdışı birim ücret 12 € ve özsermaye için %25 olarak seçilir. Karar değişkenlerinin aralıkları: çalışma dönemi (15-49) yıl; yurtiçi birim fiyat (2-3) €; yurtdışı birim fiyat (10-15) €; ve sermaye düzeyi %(20-40). Seçilen aralıklar özsermaye düzeyi için Bakatjan vd. (2003)'de detaylandırdıklarıyla ve YİD kanun maddesiyle, diğer karar değişkenlerinin aralıkları Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Ücret Tarifeleri 2012 ile uyumludur. Çalışma dönemi 15 yıllık olarak bildirilen kredi geri ödeme süresinden daha az olamaz. Bu nedenle çalışma süresinin alt sınırı 15 yıl olarak alınır. $DSCR_{avg}$ 'nin 1,5 (τ) değerinden yüksek olması yatırımın tercih edilirden olma şartını sağlamaktadır [2]. Benzer çalışmalar dahilinde IRR'nin üst limiti (IRR_D^S) %15 olarak seçilmiştir.

Çok amaçlı evrimsel çözüm algoritması MATLAB yazılım paketinde kodlanmıştır. Evrimsel algoritma parametreleri; popülasyon büyüklüğü 30, çaprazlama oranı 0,5; mutasyon oranı 0,5; ceza katsayısı 10^9 ; komşuluk ölçüsü 10; maksimum nesil sayısı 200 olarak belirlenmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir. Karar vericiler, belirli bir kâr marjı altında (IRR %15) ihale hedeflerini eş zamanlı maksimize eden optimale yakın karar vektörlerinden- pareto fronttaki çözümlerden birini seçebilirler.

BWI ve LAI amaçları çakışan nitelikte amaçlar olduğu için amaçların eş zamanlı maksimizasyonu için, bir amaçtan diğeri adına vazgeçme durumu Şekil 2'de daha net görülmektedir. Şekil 2, Pareto optimal noktalar kümesini göstermektedir. Bu Pareto-Front'taki her nokta, proje şirketi açısından %15 kârlılık altında, BWI ve LAI'nin değerlerine karşılık gelerek, global optimum bir çözümü sunmaktadır.



Şekil 2. IRR %15 Kârlılık Altında Pareto-Front

Trade-off Eğrisinin Analizi

Pareto Front, diğer ifadeyle BWI ve LAI trade-offs eğrisi, Şekil 2’de görüldüğü gibi iki uç noktaya (A-C) sahiptir. Noktalar dışbükey bir eğri oluşturmaktadır. Bu iki nokta gerçekte, BWI ve LAI’nin maksimum olduğu iki pareto optimal çözüm noktasıdır. Örneğin Şekil 2’deki A noktası, BWI’nin maksimum olduğu ve LAI’nin minimum olduğu çözüme karşılık gelir. Karşılık olarak C noktasının pozisyonu, LAI’nin maksimum olduğu ve BWI’nin minimum olduğu çözüme karşılık gelir.

Aşağıdaki Tablo 2, yukarıda Pareto Front’taki iki noktaya (Şekil 2’deki A ve C) karşılık gelen model sonuçlarını içerir. Tablo 2’de gösterildiği gibi, sırasıyla BWI ve LAI’nin maksimizasyonu için karar değişkenlerinin farklı değerleri gerekmektedir. Örneğin, sadece 1. amaç BWI’i maksimize etmek için, karar değişkenlerinin gereken değerleri aşağıdaki gibidir: Çalışma süresi (SOP), 25 yıl; yurtiçi birim yolcu tarifesi (P_D), 2.10 €; yurtdışı birim yolcu tarifesi (P_I), 11.99 €; özsermaye seviyesi (ϵ), %24.99’dur. Bu değerler tekil olarak 1. Amacı (BWI) maksimize eder. BWI ve LAI’nin maksimize edilmesi için gereken karar değişkenlerinin değerlerindeki farklılık önemlidir.

Table 2. IRR^S %15 Kârlılık Altında BWI ve LAI Değişimi

Pareto Front Noktaları	Performans Ölçümleri	(BWI,LAI) Uyum Değerleri	SOP (yıl)	P_D (€)	P_I (€)	ϵ
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

Proje şirketi, hükümet kuruluşuna rekabetçi ve finansal açıdan avantajlı bir teklif sunmak için BWI endeksini maksimum yapan değerleri belirlemelidir. Diğer taraftan proje şirketi, borç bulma kapasitesini artırmak için LAI endeksini maksimum yapan değerleri belirlemelidir. Sonuç olarak, proje şirketi BWI ya da LAI’den birini tekil olarak maksimize etmek yerine, her iki amacı da sağlayan trade-off (iki amacın ayrı ayrı yararlılıklarından diğer amaç adına vazgeçen) çözümü yeğleyebilirler. A ve C noktalarına ek olarak Şekil 2’deki 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 noktalara karşılık gelen çözümler proje şirketinin ihale hedeflerinin ulaşılması

açısından aynı derecede iyidir. Her çözüm için, BWI ve LAI'nin değeri, diğerinin değerinden ödün vermeden arttırılmaz. BWI ve LAI trade-offs eğrisi, sponsorlara uzlaşmış en iyi çözümü seçme olanağı sağlar. Uzlaşmış en iyi çözümün (BCS) seçimi, karar değişkenlerinin optimal değerlerinin yararlılıklarının gerçekleştirilmesi açısından proje şirketi için kritik öneme sahiptir. Çünkü BCS çözüm seçilerek YİD projesinin ihale kazanma ve borç bulma potansiyelinin birlikte eş zamanlı olarak arttırılması sağlanabilir.

Tatminkâr en iyi çözümün (BCS) hesaplanmasında (B noktası), Denklem 11 ve 12'deki parametreler tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu sayısı "O", 2; baskın olmayan çözüm 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 2 B Noktası).

Proje şirketi BCS çözümdeki karar değişkenlerinin değerlerini seçerek, hem hükümet kuruluşuna cazip bir teklif sunabilir hem de borç veren kuruluşun beklentilerini tatmin edebilir. BWI maksimizasyonuna göre, proje şirketi çalışma süresini 3 yıl azaltarak, yurtiçi birim ücret tarifesi 0.58 € arttırarak, özsermaye düzeyini %04 arttırarak kârlılığın ödün vermeden tarafların beklentilerini tatmin edebilir.

Table 3. IRR^S %15 için BWI ve LAI Değişimi Performans Ölçümleri

Pareto-front Noktalar	Performans Ölçümleri	Değerler (BWI, LAI)	NPV ^S x 10 ⁶ €	DSCR _{avg}	NPV ^G x 10 ⁶ €
A	BWI _{max}	200.81, 17.93	155	2.20	1.823
B	BCS	190.71, 23.02	136	2.31	1.806
C	LAI _{max}	81.96, 25.47	55.31	2.54	1.603

Tablo 3'de görüldüğü gibi, BWI maksimizasyonunda DSCR_{avg} oranı 2.20'dir. Bu değer $\tau = 1,5$ değerinden yüksek olduğundan, sadece BWI amacı dikkate alınsa bile proje şirketinin 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 DSCR_{avg} 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. BCS çözüm seçilerek, BWI_{max}'daki borç servis oranının (DSCR_{avg}) yükselmesiyle proje şirketi kârlılığın çok fazla ödün vermeden borç bulma potansiyeli arttırılmıştır. YİD havaalanı ihalesine katılmak isteyen proje şirketi YİD yatırımını %25 özsermaye ile finanse ederek, 25 yıl çalışma süresi belirleyerek, yurtiçi yolcu birim fiyat tarifesi 2,68 €, ve yurtdışı yolcu birim fiyat tarifesi 12,01 € belirleyerek ihale hedeflerini gerçekleştirebilir. Elde edilen sonuçlara göre; özsermaye seviyesi, belirlenen geçiş-eşik değerinde çıkmıştır. Özsermaye seviyesi %25'ten daha da artırılması NPV değerinde büyük azalmaya neden olduğundan dolayı şirketin kârlılığını azaltarak ihale kazanma olasılığını azaltacaktır. Asgari düzeydeki (%20) özsermaye oranı NPV'yi maksimum yapmaktadır fakat %20 özsermaye oranı ile %15 kârlılık üst limiti aşılmaktadır. Buna göre, bu projenin oldukça kârlı bir yatırım olduğunu ve özsermaye seviyesinin %25 belirlenmesin proje şirketinin kâr ve ihale hedeflerini etkilemediğini söyleyebiliriz.

Tablo 3'den görüldüğü gibi, projenin NPV'si üç çözümde de pozitifdir. 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 ödemedeki bulunabileceklerini göstermektedir. Benzer olarak, hükümetin NPV^G'si üç çözümde de pozitif çıkmıştır. Hükümet tesisi devrıldıktan sonra zarar etmeyecektir.

4. Sonuç

Bu araştırmada, hükümetin ve borç veren kuruluşun proje şirketi ile çelişen finansal çıkarlarıyla başa çıkabilen yenilikçi bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen finansal optimizasyon modeliyle proje şirketinin ihaleyi kazanma potansiyelini ve borç bulma potansiyelini en üst düzeye çıkaran karar değişkenlerinin kabul edilebilir bir bileşimi belirlenmiştir.

Son on yıldaki araştırmacılar, projelerin finansal yapılabilirliğini analiz ederken YİD projelerini genellikle fizibilite aşamasında değerlendirmeye çalışmışlardır. Bu araştırmacıardan yalnızca birkaçı ihale optimizasyon modelleri üzerine odaklanabilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Önceki araştırmalar ışığında deterministik yatırım ortamı altında çok amaçlı optimizasyon problemi önerilmiştir. Geliştirilen modelin proje şirketinin ihale hedeflerini sağlaması bakımından karar değişkenlerini optimize etmesinde gerçekçi sonuçlar alınmıştır. İki farklı ihale hedefini eş zamanlı maksimize eden pareto-optimal çözümler elde 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 sağlanmıştır.

Geliştirilen model, özel sektör şirketlerinin YİD ihale hedeflerine ulaşmasındaki karar verme sürecini iyileştirmektedir. Zaman ve kaynak verimliliği sağlanmıştır.

Model sonuçları, özel sektör şirketlerine hükümet kuruluşuna rekabetçi finansal tekliflerin hazırlanması ve önerilmesinde yardımcı olacaktır. Ayrıca borç veren kuruluşu sağlam görünmelerini sağlayacaktır.

Çalışmanın ana sonucu olarak; geliştirilen optimizasyon modeli, ihale hedeflerine en etkili ve verimli bir şekilde ulaşılmasında özel sektör şirketlerinin kullanabileceği yararlı araçlar olarak ortaya konmaktadır.

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. YİD projelerinin nitelikli analizler eşliğinde çok iyi değerlendirmelere tabi tutulması ve uygulama aşamasına geçilmeden önceki planlama aşamasına gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Referanslar

- [1]. Akintoye A., Hardcastle C., Beck M., Chinyio E., Asenova D., (2003). Achieving Best Value in Private Finance Initiative Project Procurement, *Construction Management and Economics* 21(5), 461-470.
- [2]. Bakatjan S., Arıkan M., Tiong R. L. K., (2003). Optimal Capital Structure Model for BOT Power Projects in Turkey, *ASCE, J. Constr. Engrg. and Mgmt.* 129(1), 89-97.
- [3]. Başer M., (2000). Proje Finansmanında Bir Araç Olarak Yid Modeli ve İzmit Büyükşehir Belediyesi Su Temin Projesinde Modelin Uygulanışı, Eskişehir: Doktora Tezi.
- [4]. Coello Coello C.A., Van Veldhuizen D.A., Lamont G.B., (2002). *Evolutionary Algorithms For Solving Multi-Objective Problems*, Kluwer Academic, New York.
- [5]. Duman S., Öztürk A., Tutkun N., (2011). Güç Sistemi Kararlı Kılıcı için Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanarak PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi, Elazığ: 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- [6]. Durucasu H., Acar E., (2014). Use of Evolutionary Algorithm in the Investment Project Evaluation, *Global Interdisciplinary Business-Economics Advancement Conference (GIBA)*, May 15-18, Florida, USA, 2333-4207, p. 251-260.
- [7]. Ersönmez C., (1995). Yap İşlet Devret Modeli ve Modelin Finansmanına İlişkin Bir Analiz, Uzmanlık Tezi, Ankara: Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı.
- [8]. Goldberg D. E., (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Mass.
- [9]. Islam M., (2008). *Optimizing Concessionary Items' Values For Procuring Privately Financed Infrastructure Projects*. Ph.D Thesis. Australia: Griffith University.
- [10]. Islam M.M., Mohamed, S., Blumenstein M., (2006). Towards an Optimal Financial Investment Decision In Build-Operate-Transfer Projects Using Genetic Algorithms, *Proceedings of the Third Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, June 14-16, Montreal, Canada, 1554-1563.
- [11]. Iyer K.C., Sagheer M., (2012). Optimization of Bid-Winning Potential and Capital Structure for Build-Operate-Transfer Road Projects in India, *J. Manage. Eng.*, 28(2), 104-113.
- [12]. Kapanoğlu M., (2011). Genetik Algoritma Ders Notları, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi.
- [13]. Lang L.H.P., (1998). *Project finance in Asia*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- [14]. Liou F., Yang C., Chen B., Chen W., (2011). Identifying The Pareto- Front Approximation for Negotiations Of BOT Contracts With A Multi- Objective Genetic Algorithm. *Construction Management & Economics*. Taylor and Francis Journals 0144-6193. - Vol. 29.2011, 5, p. 535-548.
- [15]. Liu B., Fernandez V., Zhang Q., Pak M., Sipahi S., Fellow G. G., (2010). An Enhanced MOEA/D-DE And Its Application To Multiobjective Analog Cell Sizing, *IEEE, Congress on Evolutionary Computation* 978-1-4244-8126-2/10.
- [16]. 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, Türkiye, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.
- [17]. Ranasinghe M., (1999). Private Sector Participation in Infrastructure Projects: A Methodology to Analyse Viability of BOT, *Construction Management and Economics* 17(5), 613-623.
- [18]. Sağ T., Çunkaş M., (2009). Çok amaçlı Genetik Algoritmalar İçin Bir Çevrimdışı Performans Değerlendirmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). Karabük: Karabük Üniversitesi.
- [19]. Tapia C.G., Murtagh B.A., (1991). Interactive Fuzzy Programming With Preference Criteria İn Multiobjective Decision Making, *Computers and Operational Research* 18, 307-318.
- [20]. 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.
- [21]. Wang L., Singh C., (2007). Environmental/Economic Power Dispatch Using A Fuzzified Multi-Objective Partial Swarm Optimization Algorithm, *Electric Power Systems Research* 77(12), 1654-1664.
- [22]. Yun S., Han S. H., Kim H., Ock J. H., (2009). Capital Structure Optimization for Build-Operate-Transfer (BOT) Projects Using A Stochastic and Multi-Objective Approach, *Canadian Journal of Civil Engineering* 36, 777-790.
- [23]. Zhang X., (2005). Financial Viability Analysis and Capital Structure Optimization in Privatized Public Infrastructure Projects, *Journal of Construction Engineering and Management* (131)6, 656-668.

