

ARASTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**BELİRSİZ VE RİSKLİ ORTAMLARDA YATIRIM PROJELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BENZETİM TABANLI BİR YAKLAŞIM**

Özgür ARMANERİ¹, Özgür YALÇINKAYA¹

ÖZ

Belirsizlik ve riskin yüksek olduğu ortamlarda, proje önerilerine ilişkin gelecek ile ilgili yapılacak tahminler kesin ve fiilen gerçekleşen değerler olamaz. Gerçekleşeceği tahmin edilen değerler ile fiilen gerçekleşen değerler arasında az ya da çok sapmalar olması kaçınılmazdır. Bundan dolayı, yatırım projeleri değerlendirilirken, proje önerisine ait risk düzeyinin de mutlaka analiz edilmesi gerekir. Benzetimi temel alan proje değerlendirme yaklaşımları, geleceğin belirsizliğini ve riskini analiz sürecine dahil etmeye izin verdiklerinden daha güvenilir yatırım kararlarının alınmasına olanak sağlar. Bununla birlikte, proje önerileri çoğu zaman birbiriyle çelişen birden fazla kriter göz önüne alınarak değerlendirilir. Bu çalışmanın amacı, riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesine ve özellikle proje risk düzeyinin belirlenmesine yönelik birden çok proje amacını dikkate alan yeni bir yaklaşım önermektir. Önerilen bu benzetim tabanlı eniyileme yaklaşımıyla, karar vericinin yatırımdan beklediği hedef karlılık değerine en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmesi için proje parametre değerlerinin ne olması gerektiği belirlenecektir. Çalışmada ayrıca önerilen yaklaşımın nasıl uygulanacağı konusunda bir örnek yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler : Risk altında karar verme, Yatırım projelerinin değerlendirilmesi, Benzetim, Yanıt yüzeyi yöntemi, İstek fonksiyonları.

**A SIMULATION BASED APPROACH FOR AN INVESTMENT PROJECT
EVALUATION UNDER UNCERTAIN AND RISKY ENVIRONMENTS**

ABSTRACT

Under high uncertainty and risky environments, the future estimations related to project proposals cannot be certain and really materialized values. It is inevitable that there exists a deviation or gap between forecasted values and actual values. Thus, project risk level of the proposal should be analyzed in the assessment phase. Simulation based project evaluation approaches enables to make more reliable investment decision since they permits including future uncertainty and risk in analyze process. In addition, many times, project proposals are evaluated with more than one conflicted criteria. The aim of this paper is to present a new approach that accounts for multiple objectives for evaluating risky investment projects and determining projects risk level. With the proposed simulation based optimization approach, necessity values for project parameters are determined to reach the expected profitability of the investment with the minimum initial investment cost. Also, there is an illustrative example given in this study as an application of the proposed approach.

Keywords: Decision making under risk, Investment project evaluation, Simulation; Response surface methodology, Desirability functions.

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
Tel: +90 232 412 76 24; fax:+90 232 412 76 08, E-mail: ozgur.armaneri@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

İşletmeler faaliyet dönemleri boyunca çeşitli yatırım alternatifleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Ancak sahip olunan ekonomik kaynakların sınırlı olması ve çeşitli kullanım alanlarının bulunması, işletmeleri, bu kaynakları nasıl ve nerede kullanması gerektiği konusunda seçim yapmaya ve karar vermeye zorlar. Dolayısıyla, sınırlı ekonomik kaynakların çok sayıda ve farklı yatırım alternatifleri için kullanılabilmesi durumu karşısında, işletmeler, bu farklı yatırım alternatifleri arasında mümkün olan en yüksek yararı sağlamak amacıyla bir sıralama ve seçim yapmak zorundadır. Bu sıralamanın veya seçimin yapılabilmesi için de yatırım alternatiflerinin belirli kriterlere göre değerlendirilmesi gerekir. Sonuç olarak eldeki ekonomik kaynaklar dikkate alınarak, hangi yatırımın ya da hangi yatırımların yapılacağına karar verilmesi mümkün olacaktır (Eski ve Armaneri, 2006).

Yatırım projelerinin değerlendirilmesi, yapılabilirlik (fizibilite) etüdlerinin tamamlanmasından sonra ve ön yatırım aşamasında yer alan bu ve diğer etüdlere sonucunda elde edilen verilere dayanılarak yapılmaktadır. Dolayısıyla, proje alternatifleri değerlendirilirken daha henüz yapılmamış yatırımlara ilişkin bazı değerlere ihtiyaç duyulur. Ancak bu değerlerin yatırım gerçekleştirilmeden kesin olarak bilinmesi mümkün değildir. Dolayısıyla tüm bu değerlerin tahmin edilmesi gerekir.

Belirlilik varsayımı altında yatırım projeleri değerlendirilirken, alternatifleri değerlendirmek için gereken ve tahmin edilerek belirlenen nakit girişleri, nakit çıkışları, toplam yatırım tutarı ve benzeri verilerin gerçekleşmesinin kesin olduğu ve tahmin edilen tüm sayısal değerlerin gerçekleşen değerler ile aynı olduğu, bir sapma olmayacağı varsayılmaktadır. Ancak gelecek ile ilgili yapılacak tahminlerin kesin ve fiilen gerçekleşen değerler olacağını varsaymak çoğu zaman doğru bir davranış olmayacaktır. Gerçekleşeceği tahmin edilen değerler ile fiilen gerçekleşen değerler arasında az ya da çok sapmalar olması kaçınılmazdır (Armaneri vd., 2005; Armaneri ve Yalçınkaya, 2006).

Bundan dolayı, yatırım projeleri değerlendirilirken, proje önerisine ait risk düzeyinin de mutlaka analiz edilmesi gerekir. Benzetimi temel alan proje değerlendirme yaklaşımları, geleceğin belirsizliğini ve riskini analiz sürecine dahil etmeye izin verdiklerinden daha güvenilir yatırım kararlarının alınmasına olanak sağlar. Bununla birlikte, proje önerileri çoğu zaman birbiriyle çelişen birden fazla kriter göz önüne

alınarak değerlendirilir. Bu çalışmanın amacı, riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesine ve özellikle proje risk düzeyinin belirlenmesine yönelik birden çok proje amacını dikkate alan yeni bir yaklaşım önermektir. Önerilen bu benzetim tabanlı eniyileme yaklaşımıyla, karar vericinin yatırımdan beklediği hedef karlılık değerine en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmesi için proje parametre değerlerinin ne olması gerektiği belirlenecektir. Çalışmada ayrıca önerilen yaklaşımın nasıl uygulanacağı konusunda bir örnek uygulama yer almaktadır.

Bu çalışma kapsamında önerilen yaklaşımın literatürde yer alan ve ikinci bölümde ele alınan çalışmalardan ayrılan önemli noktaları bulunmaktadır. Bu noktalardan birincisi çalışma kapsamında genelde birlikte ele alınmayan iki temel proje değerlendirme amacının (ölçütünün) eniyilenmeye çalışılmasıdır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların proje alternatifleri arasında bir değerlendirme ve seçim yaparken genelde sadece proje karlılığını en büyükmeye odaklandığı görülmektedir. Oysa girişimcilerin, en büyük karlılığa sahip proje önerisini gerçekleştirmeye yetecek sermayeleri bulunmayabilir. Bundan dolayı, bu çalışmada hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşma amaçlanmaktadır. Çalışmayı farklı kılan bir diğer nokta ise çalışmada dikkate alınan iki temel proje değerlendirme ölçütüne ait değerlerin, bir benzetim dili aracılığıyla geliştirilen benzetim modeli ile bulunuyor olmasıdır. Literatürde özellikle proje karlılığının benzetim ile belirlenmesine ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çoğunlukla Monte Carlo benzetimi kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Ancak Monte Carlo benzetimi ile yürütülen çalışmalarda riskli proje parametresi sayısı arttıkça hesaplamaların zorlaşacağı ve analiz sürecinin uzayacağı açıktır. Öte yandan, bir benzetim dili kullanılarak oluşturulan modeller, riskli parametreleri her çeşit olasılık dağılımı ile tanımlamaya imkan vermekte, analiz süreci oldukça kısalmaktadır. Örneğin, geliştirilen modeller sayesinde riskli proje parametrelerine ait çok sayıda kombinasyon, çok kısa süre içinde analiz edilerek her iki proje değerlendirme amacına ilişkin olası değerler belirlenebilmektedir.

Ayrıca, çalışma kapsamında ele alınan iki temel proje değerlendirme ölçütü ile bu ölçütlerin etkilendiği proje parametreleri arasındaki ilişkilerin matematiksel olarak tanımlanabilmesi amacıyla her iki ölçüte ilişkin metamodeller geliştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, metamodellerin genelde üretim sistemlerinin performansına ilişkin ölçütler ile bu ölçütleri etkileyen sistem pa-

rametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla geliştirildikleri görülmektedir. Meta-modellerin riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesinde ve risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanıldığı az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Çalışmada geliştirilen metamodeller sayesinde proje değerlendirme ölçütlerine ilişkin duyarlılık analizlerinin yapılması kolaylaşmakta, bunun için her seferinde simülasyon modeli çalıştırılması gereksinimi ortadan kalkmaktadır. Çalışmayı, literatürde yer alan diğer çalışmalardan ayıran bir diğer unsur ise riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışmada kullanılan Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürünün kullanılarak iki proje değerlendirme amacının eniyilenmeye çalışılmasıdır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmaya giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümde proje değerlendirme ve seçme sürecine ilişkin kapsamlı bir literatür araştırması sunulmuş ve yapılan bu çalışmanın literatüre katkıları aktarılmıştır. Üçüncü bölümde önerilen çok amaçlı proje değerlendirme yaklaşımı detaylı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise önerilen yaklaşımın nasıl uygulanacağı bir örnek proje değerlendirme problemi üzerinde gösterilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geleceğe yönelik belirsizliklerin yüksek olduğu durumlarda, belirlilik varsayımı altında değerlendirmeler yapmak yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Dolayısıyla, belirsiz ve riskli ortamlarda, yatırım projelerinin belirsizliği ve riski dikkate alan yöntemlerle değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Dimova vd., 2005). Literatürde, belirsizlik ve risk altında yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve analizine yönelik çeşitli yöntemler sunulmaktadır (Choobineh ve Behrens, 1992; Badiru ve Sieger, 1998; Jovanovic, 1999; Karsak ve Tolga, 2001; Mohamed ve McCowan, 2001; Boronovo ve Peccati, 2006; Huang, 2007; Medaglia vd., 2007; Rebiasz, 2007).

Belirsiz ve riskli ortamlarda proje değerlendirme ve seçme süreci, çeşitli yaklaşımları içerisinde barındırmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki, belirsizlik altında çok kriterli ya da çok amaçlı proje değerlendirme ve seçme yaklaşımıdır. Proje değerlendirme ve seçim sürecinde çeşitli amaçlar bulunmaktadır. Bu amaçlardan bazıları kantitatif iken bazıları kalitatif olmaktadır. Bundan başka, proje gelirleri ve giderleri, proje bitiş zamanı, faiz ve enflasyon

oranları gibi bazı proje parametreleri proje yaşam döngüsü boyunca değişmektedir. Dolayısıyla karar verici bu ve benzeri parametrelerin değerlerinin proje yaşam döngüsü boyunca değişiklik göstermesine ilişkin belirsizlikleri dikkate almak zorundadır (Badiru ve Sieger, 1998).

Belirtildiği üzere, yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi sürecinde, projeler; pazar durumları, hammadde bulma kolaylığı, üretim esnekliği gibi çeşitli kriterler ya da amaçlar göz önüne alınarak değerlendirilebilir. Karar vermek için çeşitli kriterlerin/amaçların dikkate alındığı bu süreç, çok kriterli karar verme süreci (ÇKKV) ya da çok amaçlı karar verme (ÇAKV) olarak adlandırılır. Etkili bir proje değerlendirme, karar verici tarafından belirlenen ve birbiri ile çelişen çok sayıda amacın karar modellerinde göz önüne alınmasını gerektirmektedir. ÇKKV/ÇAKV araçlarının en önemli avantajı da, geleceğin belirsizliği ile çok kriterli/amaçlı karar vermeyi bütünleştirebilmesidir. Literatürde ÇKKV/ÇAKV ile ilgili çok sayıda model ve yöntem geliştirilmiştir (Bellman ve Zadeh, 1971; Cochrane ve Zeleny, 1973; Keeney ve Raiffa, 1976; Ignizio, 1982; Zeleny, 1982; Saaty, 1986; Tamiz vd., 1998; Teng ve Tzeng, 1998; Saaty ve Vargas, 2000; Karsak ve Tolga, 2001; Aouni ve Kettani, 2001; Lee ve Kim, 2001; Al-harbi, 2001; Oral vd., 2001; Enea ve Piazza, 2004). Örneğin, ÇAKV ile ilgili olarak, Keeney ve Raiffa (1976) karar vericinin fayda fonksiyonunu matematiksel formda belirlemeye yönelik bir yöntem önermişlerdir. Amaç programlama da ÇAKV alanındaki en eski yöntemlerden biridir (Romero, 1986). Amaç programlama yöntemlerini ve uygulamalarını içeren çeşitli makaleler literatürde yer almaktadır (Romero, 1986; Tamiz vd., 1998; Aouni ve Kettani, 2001).

Steuer ve Na (2003), ekonomik ve finansal problemler için ÇKKV/ÇAKV ile ilgili çok geniş bir araştırma sunmaktadırlar. Ancak, literatürde çok kriterli ya da çok amaçlı proje değerlendirme ile ilgili az sayıda makaleye rastlanmıştır.

Proje değerlendirme ve seçme sürecinde karşılaşılan ikinci yaklaşım, benzetim ve benzetim sonrası analizleri temel alan yaklaşımlardır. Önceden belirtildiği üzere, yatırım planlama dönemi boyunca, tahmin edilerek belirlenen proje parametrelerinin değerlerinin sabit kaldığını varsaymak, özellikle ekonomik istikrarsızlığın yaşandığı ortamlarda yanlış sonuçlara neden olabilir. Benzetimi temel alan proje değerlendirme yaklaşımları, proje pa-

rametrelerine ait değerlerin tek bir değer yerine, bir değişim aralığına sahip olasılık dağılımları ile tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle proje değerlendirmede belirsizlik ve riskin etkisi tamamen olmasa bile bir ölçüde azalmaktadır (Eski ve Armaneri, 2006).

Proje değerlendirme ve seçme sürecinde karşılaşılan üçüncü tip yaklaşım ise belirli bir miktar sermayenin olası yatırım alternatifleri arasında bölüştürülmesi yaklaşımıdır. Burada yatırım problemi, karar vericinin amaçları dikkate alınarak her bir olası yatırım alternatifine ne kadar sermayenin tahsis edileceğinin belirlenmesidir. Bu tür problemlerin çözümünde kullanılan bazı yöntemler dinamik programlama (Ammar ve Khalifa, 2005), bulanık mantık ve genetik algoritmalar (Huang, 2007) olarak sıralanabilir.

Proje değerlendirme ve seçme sürecinde karşılaşılan son yaklaşım, yatırım projelerinin,

risklerinin incelenmesi yaklaşımıdır. Örneğin, Van Groenendaal (1998) ile Eski ve Armaneri (2006), bir projenin net bugünkü değerindeki değişkenliğin, proje riskini gösterdiğini ve doğal olarak net bugünkü değerindeki değişkenlikleri daha fazla olan projelerin daha riskli projeler olacağını belirtmektedir. Yatırım projelerinin risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları geri ödeme süresi yöntemi (Lefley, 1996), duyarlılık analizi (Jovanovic, 1999; Borgonovo ve Peccati, 2004), olasılık analizi ve benzetim teknikleridir (Lefley, 1997).

Literatür araştırmasının sonucunda, belirsizlik ve risk altında proje değerlendirme ve seçme sürecinde dört ana problem yapısı üzerine odaklanıldığı ve bu alanlarda çalışmaların sürdürüldüğü belirlenmiştir. Belirsizlik ve risk altında proje değerlendirme ve seçme sürecinde ele alınan problem yapılarının özeti Tablo 1' de görülmektedir.

Tablo 1. Belirsizlik ve risk altında proje değerlendirme ve seçme sürecinde yer alan başlıca yaklaşımlar ve kullanılan yöntemler

Yaklaşımlar	Kullanılan yöntemler
Belirsizlik altında çok kriterli ya da çok amaçlı proje değerlendirme ve seçme yaklaşımı	Analitik hiyerarşi süreci, amaç programlama, çoklu özellik fayda modelleri, grup karar verme, bulanık çok kriterli/çok amaçlı programlama (Tamiz vd., 1998; Teng ve Tzeng, 1998; Karsak ve Tolga, 2001; Aouni ve Kettani, 2001; Lee ve Kim, 2001; Al-harbi, 2001; Oral vd., 2001; Enea ve Piazza, 2004)
Benzetim ve benzetim sonrası analizleri temel alan proje değerlendirme ve seçme yaklaşımı	Bilgisayar benzetimi, benzetim metamodelleme (Badiru ve Sieger 1998; Armaneri vd. 2005; Armaneri ve Yalçınkaya 2006)
Sermayenin projelere tahsis edilmesi yaklaşımı (belirli bir miktar sermayenin olası yatırım alternatifleri arasında bölüştürülmesi yaklaşımı)	Dinamik programlama, bulanık mantık, genetik algoritmalar (Ammar ve Khalifa, 2005; Huang, 2007)
Risk değerlendirme yaklaşımı (yatırım projelerinin risklerinin incelenmesi yaklaşımı)	Duyarlılık analizi, olasılık analizi, bilgisayar benzetimi (Lefley, 1996; Jovanovic, 1999; Lefley, 1997; Borgonovo ve Peccati, 2004)

Literatür araştırması sonuçlarına göre, yatırım projelerinin değerlendirilmesine ilişkin yöntemler ekonomik analiz yöntemleri, stratejik yaklaşımlar ve analitik yöntemler olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma ile her kategoride yer alan teknikler ve bu tekniklerin avantajları ile dezavantajları Tablo 2'de görülmektedir. Sınıflandırma tablosu, Karsak ve Tolga (2001) tarafından oluşturulan tablonun genişletilmesi ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada, riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesine ve özellikle proje risk düzeyinin belirlenmesine yönelik birden çok proje

amacını dikkate alan yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Proje parametrelerinin olasılık dağılımları ile tanımlanabileceğini öngören bu yaklaşımın önemli safhaları proje değerlendirme sürecinde kullanılacak bir benzetim modeli geliştirme, deney tasarımı ve ÇAKV sürecinde eniyilemedir. Benzetim ve benzetim sonrası analizi temel alan bu eniyileme yaklaşımı ile iki proje değerlendirme amacı; net bugünkü değer (NBD) ve net bugünkü değer oranı (NBDO), riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışmada kullanılan Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürü kullanılarak eniyilenmektedir.

Tablo 2. En çok kullanılan proje değerlendirme ve seçme teknikleri

	Teknikler	Avantajlar	Dezavantajlar
Ekonomik Analiz Yöntemleri	<ul style="list-style-type: none">- İç Verim Oranı- Net Bugünkü Değer (NBD)- Net Bugünkü Değer Oranı (NBDO)- Yatırım Geri Dönüşü- Fayda-Maliyet Analizi- Basit Geri Ödeme Süresi- İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi- Karar Ağacı Analizi	<ul style="list-style-type: none">- Veri toplamada kolaylık- Sezgisel çekicilik	<ul style="list-style-type: none">- Sadece nakit akışları ile ilgili amacın dikkate alınması, kalite, esneklik gibi kalitatif faydaların göz ardı edilmesi
Stratejik Yaklaşımlar	<ul style="list-style-type: none">- Teknik Önem- İş Amaçları- Rekabet Avantajı- Araştırma ve Geliştirme	<ul style="list-style-type: none">- Daha az teknik veriye ihtiyaç duyma- Firmanın genel amaçlarını kullanma	<ul style="list-style-type: none">- Sadece uzun dönem soyut faydaları dikkate aldıklarından bu tekniklerin ekonomik ya da analitik tekniklerden biriyle kullanılması gerekliliği vardır.
Analitik Yöntemler	<ul style="list-style-type: none">- Skor Modeller- Analitik Hiyerarşi Süreci- Outranking Yöntemler- Matematiksel Programlama- Tam Sayılı Programlama- Amaç Programlama- Veri Zarflama Analizi- Stokastik Yöntemler- Oyun Teorisi Modelleri- Çoklu Özellik Fayda Modelleri- Bulanık Lingüistik Yöntemler- Uzman Sistemler- Benzetim- Bulanık Küme Teorisi	<ul style="list-style-type: none">- Geleceğin belirsizliğinin ve çoklu amacın karar sürecinde birleştirilebilmesi- Modelleme safhasında subjektif kriterler tanımlayabilme	<ul style="list-style-type: none">- Daha fazla veriye ihtiyaç duyma- Genellikle ekonomik analizlere göre daha karmaşıktır.

Bu iki proje amacının eniyilenmesinin temel gayesi, hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmek için proje değerlendirme sürecinde yer alan ve risk içeren proje parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğini belirlemektir.

Bu çalışmada, riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesine ve özellikle proje risk düzeyinin belirlenmesine yönelik birden çok proje amacını dikkate alan yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Proje parametrelerinin olasılık dağılımları ile tanımlanabileceğini öngören bu

yaklaşımın önemli safhaları proje değerlendirme sürecinde kullanılacak bir benzetim modeli geliştirme, deney tasarımı ve ÇAKV sürecinde eniyilemedir. Benzetim ve benzetim sonrası analizi temel alan bu eniyileme yaklaşımı ile iki proje değerlendirme amacı; net bugünkü değer (NBD) ve net bugünkü değer oranı (NBDO), riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışmada kullanılan Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürü kullanılarak eniyilenmektedir. Bu iki proje amacının eniyilenmesinin temel gayesi, hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ula-

şabilmek için proje değerlendirme sürecinde yer alan ve risk içeren proje parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğini belirlemektir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, proje değerlendirme sürecinde genelde sadece proje karlılığını en büyükmeye odaklanıldığı görülmektedir. Oysa girişimcilerin, en büyük karlılığa sahip proje önerisini gerçekleştirmeye yetecek sermayeleri bulunmayabilir. Bundan dolayı, bu çalışmada hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşma amaçlanmaktadır. Örneğin, karar verici, eniyileme sonucunda hesaplanan ve hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşmayı garanti eden proje parametre değerlerini belirledikten sonra, bu değerler de dahil olmak üzere daha iyimser değerlerin gerçekleşme olasılığını hesaplayarak, yatırımın gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği ve yatırımın riski konusunda rasyonel karar verebilir. Dolayısıyla, yapılan çalışmanın bir sonraki adımı, proje parametrelerinin eniyileme sonucunda hesaplanan değerleri ve daha iyimser değerleri hangi olasılıklarla alacağına belirlenmesi amacıyla olasılık analizleri yapılması olacaktır.

Çalışmayı literatürde yer alan çalışmalardan ayıran bir diğer unsur, dikkate alınan iki temel proje değerlendirme ölçütüne ait değerlerin, çok yaygın olarak kullanılan Monte Carlo benzetimi yerine, bir benzetim dili aracılığıyla geliştirilen benzetim modeli aracılığıyla bulunuyor olmasıdır. Geliştirilen bu benzetim modeli sayesinde riskli proje parametreleri her çeşit olasılık dağılımı ile tanımlanabilir ve analiz süreci oldukça kısaldı. Çalışma kapsamında, ARENA benzetim diline göre proje değerlendirme ölçütlerine ilişkin benzetim modelinin nasıl kodlanacağını gösteren bir akış diyagramı da sunulmuştur. Bununla birlikte, çalışmada geliştirilen metamodeller sayesinde proje değerlendirme ölçütlerine ilişkin duyarlılık analizlerinin yapılması kolaylaşmakta, bunun için her seferinde simülasyon modeli çalıştırılması gereksinimi ortadan kalkmaktadır.

3. YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Önceki bölümde belirtildiği gibi, önerilen yaklaşım benzetim ve benzetim sonrası analizi temel almaktadır. Benzetim, karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizinde kullanılan en güçlü analiz araçlarından birisidir. Genel anlamıyla benzetim, zaman içinde sistemin işleyişinin taklididir. Benzetim, çeşitli koşullar altında sistemin tavrının gözlenebilmesi için, bu sistemin

modellenmesi olarak da tanımlanabilir. Zaman içinde değişiklik gösteren bir sistemin tavrı, geliştirilen benzetim modeli ile incelenir. Bu model sistemin çalışması ile ilgili kabuller setinden oluşur. Bu kabuller, sistemin ilgilenilen nesnelere (varlıkları) arasındaki matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler ile ifade edilir. Literatürde, karmaşık benzetim modellerinin koşum zamanlarının uzun olması ve/veya eniyileme girdi parametre sayısının fazla olduğu durumlarda eniyileme işleminin benzetim maliyetini azaltmak için yardımcı modeller kullanılmaktadır. Bu yardımcı modellere *metamodel* adı verilir (Friedman, 1996). Bir benzetim sonrası analiz tekniği olan metamodelleme, genellikle bağımsız değişkenleri, benzetim modelinin girdi parametreleri olan ve bağımlı değişkeni ise incelenen performans ölçüsü olan bir regresyon modeli sağlamaktadır (Sridharan ve Babu, 1998).

Metamodel, benzetim modelinin çalıştırılması ile elde edilen sonuçları kendine veri olarak alır. Bundan dolayı metamodel, benzetim modelinin modeli olarak tanımlanabilir. Sistem parametrelerindeki değişimlerin, sistem performansı üzerinde nasıl etkiler yarattığı ya da parametrelerdeki değişimlerin birbirleri ile etkileşim halinde olup olmadıklarını geçerli bir metamodel sayesinde kolaylıkla belirlemek mümkündür. Dolayısıyla metamodeller, sisteme ilişkin duyarlılık analizlerinin yapılmasını da kolaylaştırmakta, bunun için her seferinde benzetim modeli çalıştırılmasını gereksiz kılmaktadır. Bu gibi avantajlarından dolayı metamodeller, karmaşık benzetim modellerini basitleştirebilmek ve daha etkin bir analiz sağlamak amacıyla benzetim sonrası yapılan analizlerde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır (McHaney ve Douglas, 1997).

Madu (1990) benzetim metamodel elde etmek için şu adımları önermektedir; 1) problemin tanımlanması, 2) girdi değişkenlerinin değişim aralıklarının belirlenmesi, 3) deney tasarımının geliştirilmesi, 4) benzetim modelinin kurulması, 5) metamodelin geliştirilmesi, doğrulanması ve geçerliliğinin gösterilmesi.

Bu çalışma kapsamında, iki proje amacı NBD ve NBDO'nu eniyilemek amacıyla, Madu (1990) tarafından önerilen metamodelleme prosedürü ile Myers ve Montgomery (1995) tarafından tanımlanan yanıt yüzeyi yöntemi (YYY) uygulanmıştır. Bir benzetim çalışmasının amacı sistem performansını eniyilemek olduğunda, sıklıkla YYY uygulanmaktadır. YYY, proseslerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve eniyilenmesinde kullanılan matematiksel ve

istatistiksel tekniklerin bileşimi olan bir yöntemdir. Literatürde tasarım, geliştirme, yeni ürünlerin formülasyonu, var olan ürünlerin tasarımlarının iyileştirilmesi konularında uygulamaları vardır. Ayrıca eniyileme modellerinin oluşturulmasında araç olarak kullanılmaktadır. YYY bir yanıtı etkileyen faktörlerle yanıt arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaracak deneysel tasarımları ve bu yanıtı eniyileyecek yöntemleri içerir (Myers ve Montgomery, 1995).

Bu bilgiler ışığında, ÇAKV sürecinde benzetimi, deney tasarımını ve eniyilemeyi kapsayan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım Tablo 3 de görülmektedir. Sonraki bölümde önerilen yaklaşımın uygulanmasını göstermek amacıyla bir nümerik örnek ele alınmaktadır.

4. ÖNERİLEN YAKLAŞIMIN UYGULANMASI

Adım 1: Problemin tanımlanması

Önceden belirtildiği gibi, önerilen yaklaşım, karar vericinin projeden hedeflediği karlılığa en düşük yatırım maliyeti ile ulaşabilmesi için risk içeren proje parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğini belirlemeye odaklanmaktadır. İlk adımda, amacı, belirsiz faktörleri ve bunların düzeyleri ile bir hipotetik yatırım problemi tanımlanmıştır. Yatırım problemin amacı hedeflenen NBD'e NBDO en büyükleme ile ulaşmak için proje parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğini belirlemektir. Kontrol edilebilir faktörler (belirsiz faktörler) ile düzeyleri Tablo 4'de görülmektedir. Karar vericinin yatırım projesi için hedeflediği karlılık (NBD), 150,000 YTL varsayılmıştır ve hedef karlılığın alt ve üst limitleri sırasıyla 147,500 YTL ile 152,500 YTL alınmıştır.

NBD ve NBDO eşitlikleri aşağıda görülmektedir.

$$NBD = \sum_{t=1}^N \frac{A_t}{(1+i)^t} + \frac{H}{(1+i)^N} - I_0 \quad (1)$$

$$NBDO = NBD / I_0 \quad (2)$$

Adım 2: Proje amaçları için benzetim modeli geliştirme

İkinci adımda, tasarım noktalarında deneyler yürütebilmek amacıyla ARENA 3.0 benzetim dilinde bir bilgisayar benzetim modeli geliştirilmiştir. Buna göre, NBD ve NBDO hesaplama olayının akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.

Benzetim modeli çıktılarının varyansını azaltmak amacıyla varyans azaltma tekniklerinden biri olan *ortak rasgele sayılar* uygulanmıştır. Bu sayede, senaryoların benzer koşullar altında karşılaştırılabilme imkanı doğar (Pegden vd., 1990; Law ve Kelton, 1991). Benzetim modelinin doğrulanması için modüler yapıda program geliştirme, interaktif kusur belirleyicileri kullanma ve sonuçları elle kontrol etme gibi teknikler kullanılmıştır. Benzetim modelinin geçerliliği için ise rasgele değişkenler yerine sabit değerler konulmuş ve benzetim modelinin sonuçları ile Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulgular göstermiştir ki; benzetim modeli geçerlidir ve çalışmanın ileriki adımlarında kullanılabilir. Geliştirilen benzetim modeli faktör düzeylerindeki değişikliklere adapte olacak esnekliktedir ve ayrıca faktör düzeyleri için farklı dağılımlar kullanmaya izin vermektedir.

Adım 3: Deney tasarlama ve metamodel geliştirme

Üçüncü adımda, bu çalışma kapsamında yer alan iki düzeyli tam faktöriyel tasarım geliştirme, artıkların normal olasılık grafiğini oluşturma, varyansı analiz etme, birinci derece regresyon modellerini elde etme, merkezi karma tasarım oluşturma, ikinci derece regresyon modellerini elde etme ve Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürünü uygulama gibi tüm istatistiksel çalışmalar için MINITAB Release 13.20 yazılım paketi kullanılır.

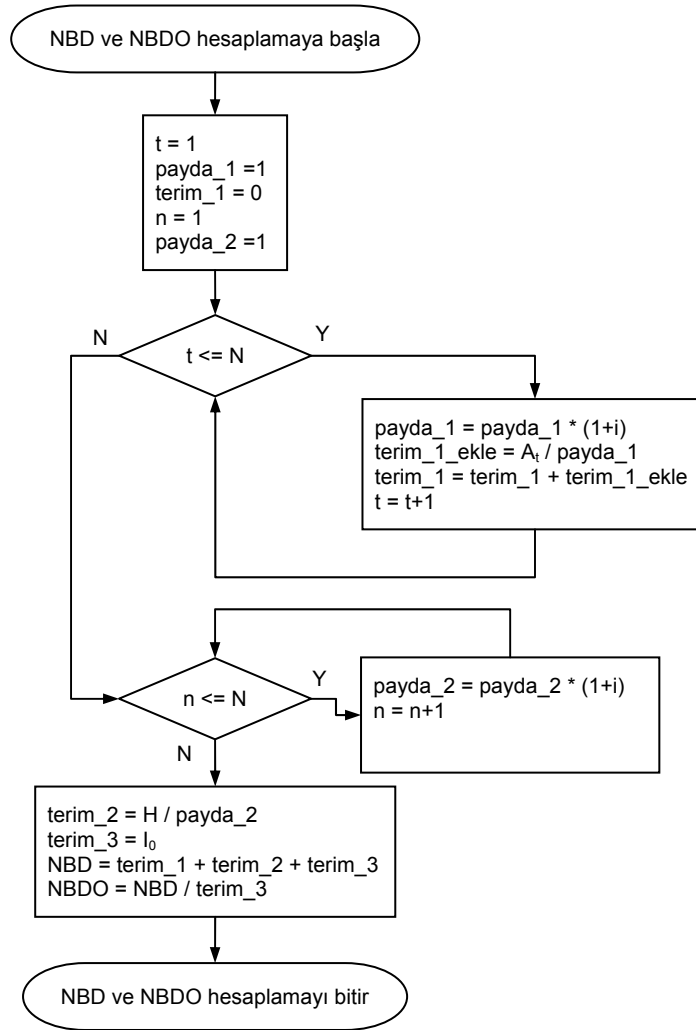
Bu adımda, deneysel alanı araştırmak için Myers ve Montgomery (1995) tarafından tanımlanan YYY kullanılır. Uygun birinci derece regresyon modellerini belirleyebilmek için 5 merkezi çalıştırma ile iki düzeyli tam faktöriyel tasarım uygulanır. Böylelikle tüm ana faktörler ile bu faktörler arasındaki bazı etkileşimleri belirlemek ve eğriliği test etmek mümkün olacaktır. Daha sonra, önceki adımda geliştirilen benzetim modeli, her tasarım noktasında çalıştırılır, NBD ve NBDO yanıt değişkenleri için benzetim çıktı değerleri elde edilir. İki düzeyli tam faktöriyel tasarım noktaları için değerler 10 tekrarın aritmetik ortalaması olmasına rağmen, merkez noktalarıyla ilgili değerler bir tekrar ile elde edilir. Artıkların sıfır ortalama ve sabit varyans ile normal dağıldığı, tüm artıkların özdeş bir dağılıma sahip olduğu ve birbirlerinden bağımsız olduğu doğrulandıktan sonra, birinci derece regresyon modellerinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını görmek için varyans analizi gerçekleştirilir. Tablo 5'de NBD ve NBDO yanıt değişkenlerine ait geliştirilen birinci derece regresyon modelleri için varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 3. Yatırım projelerinin değerlendirilmesi için önerilen yaklaşım

ADIM 1: Problemi tanımla - Belirsiz faktörleri ve düzeylerini belirle - Amaç: hedeflenen NBD'e NBDO en büyüklemesi ile ulaşmak - Karar vericinin hedeflediği proje NBD'ini belirle
ADIM 2: Proje amaçları için benzetim modeli geliştir - ARENA benzetimi dili ile kodla - Benzetim modelinin geçerliliğini göster
ADIM 3: Deneyle tasarla ve metamodel geliştir - Deneyle tasarımı geliştir - Tasarım noktalarında benzetim modelini çalıştır - MINITAB istatistiksel yazılım paketini kullan - Metamodelleri doğrula
ADIM 4: NBD ve NBDO'nı YYY kullanarak eniyile - Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürünü uygula - Teyit için benzetim modelini çalıştır - Metamodellerin geçerliliğini göster

Tablo 4. Belirsiz faktörler ve düzeyleri

Belirsiz faktörler	Sembol	Alt düzey (Kodlanmış değer -1) Normal değer	Merkezi düzey (Kodlanmış değer 0) Normal değer	Üst düzey (Kodlanmış değer +1) Normal değer
t . periyottaki nakit akışı	A_t	12,000 YTL ortalama ile üssel dağılım	13,500 YTL ortalama ile üssel dağılım	15,000 YTL ortalama ile üssel dağılım
İskonto oranı	i	%5	%10	%15
Ekonomik yaşam döngüsü	N	5 periyot	8 periyot	10 periyot
Hurda değer	H	5,000 YTL ortalama ve 167 YTL standart sapma ile normal dağılım	5,500 YTL ortalama ve 130 YTL standart sapma ile normal dağılım	6,000 YTL ortalama ve 200 YTL standart sapma ile normal dağılım
İlk yatırım maliyeti	I_0	minimum 5,000 YTL ve maksimum 6,000 YTL ile uniform dağılım	minimum 15,000 YTL ve maksimum 16,000 YTL ile uniform dağılım	minimum 25,000 YTL ve maksimum 26,000 YTL ile uniform dağılım



Şekil 1. NBD ve NBDO hesaplama olayının akış diyagramı

Tablo 5. NBD ve NBDO yanıt değişkenlerine ait birinci derece regresyon modelleri için varyans analizi

Analysis of Variance for NBD (in coded values)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	53473677166	5,3474E+10	1,0695E+10	98,22	0,000
2-Way Interactions	10	1468765081	1468765081	146876508	1,35	0,269
Residual Error	21	2286532456	2286532456	108882498		
Curvature	1	675777031	675777031	675777031	8,39	0,009
Lack of Fit	16	11555425	11555425	722214	0,00	1,000
Pure Error	4	1599200000	1599200000	399800000		
Total	36	57228974703				
		S = 11006	R-Sq = 93,4%	R-Sq(adj) = 92,4%		

Analysis of Variance for NBDO (in coded values)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	3289,92	3289,92	657,983	73,07	0,000
2-Way Interactions	10	299,59	299,59	29,959	3,33	0,010
Residual Error	21	189,09	189,09	9,005		
Curvature	1	174,42	174,42	174,419	237,70	0,000
Lack of Fit	16	8,38	8,38	0,524	0,33	0,950
Pure Error	4	6,29	6,29	1,573		
Total	36	3778,60				
		S = 3,970	R-Sq = 87,1%	R-Sq(adj) = 85,0%		

Tablo 5’de görüldüğü gibi, her iki varyans analizinde, eğrilik testi için bulunan P değerleri, önem düzeyinden ($\alpha=0.05$) daha küçüktür. Bu durum göstermektedir ki; NBD ve NBDO yanıt değişkenlerinin her ikisi için de eğrilik istatistiksel olarak önemlidir. Destekleyici olarak, uyum eksikliğinin istatistiksel olarak önemli olmaması ($P>0.05$), uydurulan birince derece regresyon modelleri için araştırılan deneysel alanın en uygun alanın yakında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, uydurulan birinci derece regresyon modelleri, kodlanmış değerler cinsinden eşitlik (3) ve eşitlik (4)’ de verilmiştir. Bilindiği üzere, kodlanmış değerler (-1) ile (+1) arasında değerler alan, sıfır ortalamaya ve aynı standart sapmaya sahip değerler olarak tanımlanır.

$$NBD = 107788 + 13312 x_1 - 36468 x_2 + 7991 x_3 + 132 x_4 - 10001 x_5 \quad (3)$$

$$NBDO = 12.000 + 1.520 x_1 - 4.170 x_2 + 0.913 x_3 + 0.015 x_4 - 9.070 x_5 \quad (4)$$

Eşitliklerde kodlanmış değişkenler (x_1, x_2, x_3, x_4 ve x_5) sırasıyla Tablo 4’de ilk sütunda tanımlanan belirsiz faktörleri göstermektedir.

Deneysel alan, en uygun koşullar alanının yakınına doğru hareket ettiği sürece eğriliğin daha etkili olması beklenir. Eğer eğrilik testi sonucunda, eğriliğin istatistiksel olarak önemli olduğu bulunursa, en dik iniş yönteminin sonuç verici olduğundan kuşku duyulur. Bu noktada, kesin olarak, uydurulmuş ikinci derece regresyon modelini kullanma yoluyla en uygun koşulların bulunmasıyla ilgilenilmelidir. Bir ikinci derece model uydurulması için merkezi karma tasarımlar kullanılır. Bu tür tasarımlar iki düzeyli tam faktöriyel tasarımlardır.

Bu bilgilerin ışığında, ikinci derece regresyon modellerini elde etmek için yüzey merkezli merkezi karma tasarımlar oluşturulur. Geliştirilen benzetim modeli her tasarım noktası için çalıştırılır, NBD ve NBDO yanıt değişkenleri için benzetim çıktı değerleri elde edilir. Merkez noktalarla ilgili değerler bir tekrar ile elde edilirken, diğer tasarım noktalarına ait değerler 10 tekrarın aritmetik ortalaması alınarak belirlenir. Artıkların sıfır ortalama ve sabit varyans ile normal dağıldığı, tüm artıkların özdeş bir dağılıma sahip olduğu ve birbirlerinden bağımsız olduğu doğrulandıktan sonra, ikinci derece regresyon modellerinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını görmek için varyans analizi gerçekleştirilir. Tablo 6’ da NBD ve NBDO yanıt değişkenlerine ait geliştirilen ikinci derece regresyon modelleri için varyans analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 6’da görüldüğü üzere, regresyon modelleri için P değerlerinin önem düzeyinden ($\alpha = 0.05$) küçük olması ve uyum eksikliğinin bulunmamasından dolayı ikinci derece regresyon modellerinin istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna varılır. Sonuç olarak, uydurulan ikinci derece regresyon modelleri, kodlanmış değerler cinsinden eşitlik (5) ve eşitlik (6)’da verilmiştir.

$$NBD = 98837.20 + 13269.40 x_1 - 36547.40 x_2 + 7863.24 x_3 + 132.65 x_4 - 9998.82 x_5 - 73.74 x_1^2 + 9541.26 x_2^2 - 1968.74 x_3^2 - 128.74 x_4^2 - 103.74 x_5^2 - 3942.81 x_1 x_2 + 902.81 x_1 x_3 + 30.94 x_1 x_4 - 2.81 x_1 x_5 - 5434.06 x_2 x_3 - 83.44 x_2 x_4 - 3.44 x_2 x_5 - 32.81 x_3 x_4 + 0.94 x_3 x_5 + 4.06 x_4 x_5 \quad (5)$$

$$NBDO = 98837.20 + 13269.40 x_1 - 36547.40 x_2 + 7863.24 x_3 + 132.65 x_4 - 9998.82 x_5 - 73.74 x_1^2 + 9541.26 x_2^2 - 1968.74 x_3^2 - 128.74 x_4^2 - 103.74 x_5^2 - 3942.81 x_1 x_2 + 902.81 x_1 x_3 + 30.94 x_1 x_4 - 2.81 x_1 x_5 - 5434.06 x_2 x_3 - 83.44 x_2 x_4 - 3.44 x_2 x_5 - 32.81 x_3 x_4 + 0.94 x_3 x_5 + 4.06 x_4 x_5 \quad (6)$$

Eşitlik (5) ve eşitlik (6)’da görülen metamodeller geliştirildikten sonra, bu metamodeller doğrulanır. Modellerin doğrulanması için Tablo 6 da gösterilen uyum eksikliği testleri uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; benzetim metamodelleri, %5 önem düzeyi ile, istatistiksel olarak önemli bir uyum eksikliğine ($P>0.05$) sahip değildir. Modellerin doğrulanması için bir diğer ölçüt determinasyon katsayısı (R^2) ve düzeltilmiş determinasyon katsayısıdır ($adjR^2$). NBD metamodeli için $R^2 = \%90.4$, ve $adjR^2 = \%84.3$, NBDO metamodeli için $R^2 = \%99.0$, ve $adjR^2 = \%98.3$ olarak bulunmuştur. Bu değerler yeterince yüksek değerlerdir ve bulunan metamodellerin bir sonraki adımda kullanılmasında bir problem olmayacağını göstermektedir.

Adım 4: YYY kullanarak NBD ve NBDO’nu eniyileme

İki yanıt değişkenini eniyileyecek girdi değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesi için *Derringer-Suich çoklu-yanıt eniyileme prosedürü* (Derringer ve Suich, 1980) kullanılır. Derringer-Suich yöntemi, yanıt değerleri üzerindeki öncelikleri ve istekleri tek bir eniyileme prosedürüne katmayı sağlayan bir istek fonksiyonu kullanmaktadır. İlk olarak, her yanıt değişkeninin üst sınırı (C), alt sınırı (A) ve hedef değeri (B) ile ilgili karar verilir. Eğer yanıt değişkeni atanmış bir hedef değere sahip ise bu durumda iki yanlı istek fonksiyonları kullanılır.

Tablo 6. NBD ve NBDO yanıt değişkenlerine ait ikinci derece regresyon modelleri için varyans analizi

Analysis of Variance for NBD (in coded values)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	5,9077E+10	59077231217	2953861561	14,66	0,000
Linear	5	5,6903E+10	56902768291	11380553658	56,49	0,000
Square	5	705697844	705697844	141139569	0,70	0,627
Interaction	10	1468765081	1468765081	146876508	0,73	0,692
Residual Error	31	6245453728	6245453728	201466249		
Lack-of-Fit	22	24897728	24897728	1131715	0,00	1,000
Pure Error	9	6220556000	6220556000	691172889		
Total	51	6,5323E+10				
S = 14194		R-Sq = 90,4%		R-Sq(adj) = 84,3%		
Analysis of Variance for NBDO (in coded values)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	4211,08	4211,08	210,554	151,71	0,000
Linear	5	3441,94	3441,94	688,387	496,01	0,000
Square	5	469,56	469,56	93,911	67,67	0,000
Interaction	10	299,59	299,59	29,959	21,59	0,000
Residual Error	31	43,02	43,02	1,388		
Lack-of-Fit	22	15,81	15,81	0,718	0,24	0,997
Pure Error	9	27,22	27,22	3,024		
Total	51	4254,10				
S = 1,178		R-Sq = 99,0%		R-Sq(adj) = 98,3%		

Hedef değer düzeyine sahip bir yanıt için, A , B ve C değerleri $A \leq B \leq C$ olacak şekilde atanır. Eğer $\hat{y} < A$ ya da $\hat{y} > C$ ise sonuç kabul edilemez olarak dikkate alınır. d_i miktarı, istek, şöyle tanımlanır;

$$d_i = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y} - A}{B - A} \right)^s, & A \leq \hat{y} \leq B \\ \left(\frac{\hat{y} - C}{B - C} \right)^t, & B \leq \hat{y} \leq C \end{cases} \quad (7)$$

Burada $\hat{y} > C$ ya da $\hat{y} < A$ olursa, d_i sıfır olacaktır.

Eğer yanıt en büyüklenmek/en küçüklenmek istenirse, bu durumda tek yanlı istek fonksiyonları kullanılır. Burada en büyüklemek için, B değeri, $\hat{y} \geq B$ koşuluyla ve $d = 1$ yapacak şekilde seçilir. $\hat{y} < A$ için bulunan bir değeri kabul edilemez olarak değerlendirilir ve böylece $d = 0$ olur. Bu durumda, $B = C$ olacaktır. İstek fonksiyonu şu şekilde verilir;

$$d_i = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y} - A}{B - A} \right)^s, & A \leq \hat{y} \leq B \end{cases} \quad (8)$$

Çoğu uygulamalarda A , B ve C değerleri araştırmacının önceliklerine göre seçilir. s ve t değerleri \hat{y} 'nin hedef B 'ye yakın olmasının

önemine göre seçilir (Myers ve Montgomery, 1995; Yalçınkaya ve Bayhan, 2009).

Genel yaklaşım, ilk olarak her yanıt y_i değerini bireysel istek fonksiyonuna (d_i) dönüştürmektir. Bireysel istek fonksiyonu $[0, 1]$ aralığında değerler alır ($0 \leq d_i \leq 1$) ve eğer yanıt y_i kendi amacında ya da hedefinde ise $d_i = 1$, eğer yanıt y_i kabul edilebilir alanın dışında ise $d_i = 0$ olur. Daha sonra tasarım değişkenleri toplam isteği en büyüklemek için seçilirler. Toplam istek (D) şöyle elde edilir;

$$D = (d_1 * d_2 * \dots * d_m)^{1/m} \quad (9)$$

Eşitlikte m yanıt sayısını göstermektedir (Montgomery, 2001).

Toplam istek fonksiyonunu tanımladıktan sonra, eniyileme algoritması ile toplam istek fonksiyonunu en büyüklemek için girdi değişkenler belirlenir. Derringer ve Suich, toplam istek fonksiyonunu eniyilemek için bir direkt araştırma yöntemi tipi olan Hooke ve Jeeves (1961) araştırma yöntemini kullanır (Kim vd., 2002).

t ve s değerlerinin her kombinasyonu için global en uygun noktaları bulmak amacıyla MINITAB yazılım paketinin Response Optimizer aracı kullanılır. t ve s ile ifade edilen ağırlıklar, her yanıt için istek fonksiyonunun biçimini tanımlar. Her yanıt için, hedefi vurgu-

lamak ya da vurguyu azaltmak amacıyla bir ağırlık seçilebilir.

Response Optimizer aracı, yanıt kümesindeki her yanıt için ihtiyaçları tatmin etme yoluyla yanıt kümesini birlikte eniyileyecek girdi değişken düzeylerinin kombinasyonunu arar. Eniyileme, her yanıt için bireysel istek (d) elde edilerek, karma istek fonksiyonunu (D) elde etmek için bireysel istekler birleştirilerek, daha sonra karma istek fonksiyonu en büyütülerek ve en uygun girdi değişken değerleri belirlenerek başarılıdır. Sonuçta, MINITAB çoklu başlama noktaları ile indirgenmiş gradyan algoritmasını uygular.

Ele alınan nümerik örnek için, hedef NBD 150,000 YTL olarak belirlenmiştir. Hedef NBD'in alt ve üst limitleri sırasıyla 147,500 YTL ve 152,500 YTL alınmıştır. Öte yandan, NBDO en büyütülme istenmektedir. t ve s ağırlıkları 0.1, 1 ve 10 olarak seçilmiştir. Bu sayede ağırlıkların 9 farklı kombinasyonu incelenir. Her kombinasyon noktası için, Derringer-Suich prosedürü uygulanır. Daha sonra, her kombinasyon için en uygun girdi düzeyleri kodlanmış değerler cinsinden bulunur ve bu düzeylerdeki metamodel değerleri elde edilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de metamodel sütunlarında görülmektedir. Derringer-Suich prosedürü metamodeller üzerinde uygulandığından, teyit edici benzetim çalıştırmaları gereklidir. Benzetim modelinin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar Tablo 7'de benzetim sütunlarında görülmektedir. Tabloda yer alan benzetim sonuçları 10 tekrarın ortalamasını gösterir. Tablo 7'de son sütunda gösterilen mut-

lak bağıl hata (r) değerleri, metamodellerin geçerliliğinin belirlenmesi amacıyla eşitlik (10) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$r = |(w - y) / w| \quad (10)$$

Eşitlikte benzetim çıktısı w , metamodel çıktısı y ile gösterilir (Kleijnen ve Sargent, 2000). Ek olarak, mutlak bağıl hata için eşik değeri (r_{max}) %5 kabul edilmiştir. Bütün r değerlerinin %5 eşik değerinden küçük olmasından dolayı, ikinci derece metamodellerin geçerli ve kabul edilebilir oldukları sonucuna varılır.

Tablo 7'deki satırlar, benzetim modelinin çalıştırılması ile elde edilen NBD'ler göz önüne alınarak sıralanmıştır. Benzetim sonucunda en düşük NBD'e sahip satır ilk sırada yer almıştır. NBDO için maksimum benzetim sonucu 7., 8., ve 9. satırlarda %28.63 olarak elde edilmiştir. Öte yandan, bu noktada NBD 151,500 YTL bulunmuştur ve bu değer belirlenen alt ve üst limitler içerisinde yer almaktadır. Girdi değişken düzeylerinin normal değerlere dönüştürülmesi ile Tablo 8'de görülen değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 8'de görülen proje parametre değerleri, karar vericinin yatırımdan beklediği hedef karlılık değerine en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmesi için proje parametre değerlerinin ne olması gerektiğini ifade eden değerlerdir.

Tablo 7. Her kombinasyon için en uygun girdi düzeyleri

	Ağırlıklar		Kodlanmış Değerler					Metamodel		Benzetim		r (%)	
	t	s	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	NBD	NBDO	NBD	NBDO	NBD	NBDO
1	0.1	10	0.69	-0.48	1.00	1.00	-1.00	148,328	28.00	144,940	27.39	2.34	2.23
2	10	1	0.98	-0.83	0.60	-1.00	0.89	150,161	6.00	145,370	6.01	3.30	0.08
3	0.1	0.1	0.58	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	148,647	28.00	148,000	27.95	0.44	0.18
4	0.1	1	0.58	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	148,647	28.00	148,000	27.95	0.44	0.18
5	10	0.1	1.00	-1.00	-0.08	-1.00	1.00	150,403	6.00	149,940	5.92	0.31	1.30
6	1	0.1	1.00	-1.00	-0.20	-1.00	0.87	149,977	6.00	151,200	6.30	0.81	4.76
7	1	1	0.36	-1.00	-0.79	-1.00	-1.00	148,682	28.00	151,500	28.63	1.86	2.20
8	1	10	0.36	-1.00	-0.79	-1.00	-1.00	148,682	28.00	151,500	28.63	1.86	2.20
9	10	10	0.36	-1.00	-0.79	-1.00	-1.00	148,682	28.00	151,500	28.63	1.86	2.20

Tablo 8. Belirsiz faktörlerin normal değerler cinsinden uygun düzeyleri

Belirsiz Faktörler	Sembol	Optimum Düzey
t . periyottaki nakit akışı	A_t	14,040 YTL ortalama ile üssel dağılım
İskonto oranı	i	%5
Ekonomik yaşam döngüsü	N	6 periyot
Hurda değer	H	5,000 YTL ortalama ve 167 YTL standart sapma ile normal dağılım
İlk yatırım maliyeti	I_0	minimum 5,000 YTL ve maksimum 6,000 YTL ile uniform dağılım

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleceğe yönelik belirsizliklerin yüksek olduğu durumlarda, geçmişteki olayların eğiliminin gelecekte de aynen devam edeceğini varsaymak ve yatırım projelerini belirsizliği ve riski göz önüne almayan yöntemlerle değerlendirerek yatırım kararları almak son derece yanlıştır. Geleneksel proje değerlendirme yöntemlerinde, genellikle tüm faktörlerin deterministik olduğu varsayılmaktadır. Ancak belirsiz ve riskli ortamlarda, ilk yatırım maliyeti, nakit akışları ve iskonto oranı gibi proje parametrelerinin değerlerinin deterministik olduğu varsayılmaz. Çünkü bu faktörler, projenin yaşam döngüsü boyunca değişir. Dolayısıyla, böyle durumlarda belirsizliği ve riski dikkate alan proje değerlendirme yöntemlerine başvurmak kaçınılmazdır. Bazı projeler için belirsizlikler oldukça yüksektir ve bu tür projelerin değerlendirmesinde benzetim tabanlı proje değerlendirme yöntemleri büyük başarı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, benzetim ve yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve proje riskinin saptanması üzerine odaklanılmıştır ve karar vericinin yatırım proje önerisinden beklediği hedef karlılık değerine en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmesi için proje parametre değerlerinin ne olması gerektiğinin ve proje önerisinin risk düzeyinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yatırım projelerinin değerlendirilmesi için birden çok amacı dikkate alan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşım, benzetimi, deney tasarımı ve eniyilemeyi çok amaçlı karar verme sürecinin içine katmaktadır ve proje parametrelerinin değerlerinin olasılık dağılımları ile belirlenebileceğini göz önüne almaktadır.

Çoğu proje değerlendirme probleminde, temel amaçlardan biri yatırım projesinin beklenen karlılığı sağlayıp sağlayamayacağını belirlenmesidir. Bu çalışma kapsamında önerilen yaklaşımda, bu temel amaca ek olarak, hedef karlılık değerine en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilme amacı da dikkate alınmaktadır. Çalışmanın uygulama kısmında geliştirilen hipotetik yatırım problemi, bu iki amaç dikkate alınarak değerlendirilmiş ve önerilen yaklaşım sayesinde projeden beklenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşabilmek için proje parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiği belirlenmiştir. Böylelikle karar vericinin, proje parametrelerinin hangi değerleri alacağını tahmin ettikten sonra, tahmin ettiği bu değerleri, önerilen yaklaşımın uygulanması sonucunda hesaplanan değerler ile karşılaştırarak proje önerisinin risk düzeyi hakkında daha doğru yargılara ulaşması amaçlanmıştır.

Karar verici, eniyileme sonucunda hesaplanan ve hedeflenen karlılığa en düşük ilk yatırım maliyeti ile ulaşmayı garanti eden proje parametre değerlerini belirledikten sonra, bu değerler de dahil olmak üzere daha iyimser değerlerin gerçekleşme olasılığını hesaplayarak, yatırımın gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği ve yatırımın riski konusunda rasyonel karar verebilir. Dolayısıyla, yapılan çalışmanın bir sonraki adımı, gerçek bir yatırım değerlendirme probleminde, proje parametrelerinin eniyileme sonucunda hesaplanan değerleri ve daha iyimser değerleri hangi olasılıklarla alacağını belirlenmesi amacıyla olasılık analizleri yapılması olacaktır.

KAYNAKLAR

Al-Harbi, K.M.A. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management* 19, 19-27.

- Ammar, E. ve Khalifa, H.A. (2005). Characterization of optimal solutions of uncertainty investment problem. *Applied Mathematics and Computation* 160, 111-124.
- Aouni, B. ve Kettani, O. (2001). Goal programming model: A glorious history and a promise future. *European Journal of Operational Research* 133, 225-231.
- Armaneri, Ö. ve Yalçinkaya, Ö. (2006). *Evaluation of Risky Investment Projects through Simulation and Response Surface Methodology*. Lectures on Modeling and Simulation. 7(2), 21-30.
- Armaneri, Ö., Yalçinkaya, Ö. ve Eski, H. (2005). Riskli Yatırım Projelerinin Simülasyon Metamodelleme Yöntemi ile Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, V.Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayı Bildiriler Kitabı*. s.245-250.
- Badiru, A.B. ve Sieger, D.B. (1998). Neural network as a simulation metamodel in economic analysis of risky projects. *European Journal of Operational Research* 105, 130-142.
- Bellman, R. ve Zadeh, L. (1971). Decision making in a fuzzy environment. *Management Science* 17, 141-164.
- Borgonovo, E. ve Peccati, L. (2004). Sensitivity analysis in investment project evaluation. *International Journal of Production Economics* 90, 17-25.
- Borgonovo, E. ve Peccati, L. (2006). Uncertainty and global sensitivity analysis in the evaluation of investment projects. *International Journal of Production Economics* 104(1), 62-73.
- Choobineh, F. ve Behrens, A. (1992). Use of intervals and possibility distributions in economic analysis. *Journal of the Operational Research Society* 43(9), s.907-918.
- Cochrane, J.L. ve Zeleny, M. (1973). *Multiple Criteria Decision Making*. Univ. South Carolina Press, Columbia, SC.
- Derringer, G.C. ve Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*. 12, 214-219.
- Dimova, L., Sevastianov, P. ve Sevastianov, D. (2006). MCDM in a fuzzy setting: Investment projects assessment application. *International Journal of Production Economics* 100(1), 10-29.
- Enea, M. ve Piazza T. (2004), Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making* 3, 39-62.
- Eski, H. ve Armaneri, Ö. (2006). *Mühendislik Ekonomisi*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Friedman, L.W. (1996). *The Simulation Metamodel*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts.
- Hooke, R. ve Jeeves, T.A. (1961). Direct search' solution of numerical and statistical problems. *Journal of the Association for Computing Machinery*. 8 (2), 212-229.
- Huang, X. (2007). Optimal project selection with random fuzzy parameters. *International Journal of Production Economics*. 106(2), 513-522.
- Ignizio, J.P. (1982). *Linear Programming in Single and Multiple Objective Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Jovanovic, P. (1999). Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk. *International Journal of Project management* 17(4), 217-222.
- Karsak, E.E. ve Tolga, E. (2001). Fuzzy multicriteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments. *International Journal of Production Economics* 69, 49-64.
- Keeney, R.L. ve Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. Wiley, New York.
- Kim, D., Rhee, S. ve Park, H. (2002). Modeling and optimization of a GMA welding process by genetic algorithm and response surface methodology. *Internation*

- tional Journal of Production Research* 40, 1699-1711.
- Kleijnen, J.P.C. ve Sargent, R.G. (2000), A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. *European Journal of Operational Research* 120, 14-29.
- Law, A.M. ve Kelton, W.D. (1991). *Simulation Modeling & Analysis*. McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Lee, J.W. ve Kim, S.H. (2001). An integrated approach for independent information system project selection. *International Journal of Project Management*. 19, 111-118.
- Lefley, F. (1996). The payback method of investment appraisal: a review and synthesis. *International Journal of Production Economics*. 44, 207-244.
- Lefley, F. (1997). Approaches to risk and uncertainty in the appraisal of new technology capital projects. *International Journal of Production Economics* 53, 21-33.
- Madu, C.N. (1990). Simulation in Manufacturing: A Regression Metamodel Approach. *Computers & Industrial Engineering* 18, 381-389.
- McHaney, R.W. ve Douglas, D.E. (1997). Multivariate regression metamodel: A DSS application in industry. *Decision Support Systems* 19, 43-52.
- Medaglia, A.L., Graves, S.B. ve Ringuest, J.L. (2007). A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. *European Journal of Operational Research* 179(3), 869-894.
- Mohamed, S. ve McCowan, A.K. (2001). Modelling Project investment decisions under uncertainty using possibility theory. *International Journal of Project Management* 19, 231-241.
- Montgomery, D.C. (2001). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Myers, R.H. ve Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Oral, M., Kettani, O. ve Çınar, Ü. (2001). Project evaluation and selection in a network of collaboration. A consensual disaggregation multi-criterion approach. *European Journal of Operational Research* 130, 332-346.
- Pegden, C.D., Shannon, R.E. ve Sadowski, R.P. (1990). *Introduction to Simulation Using SIMAN*. McGraw-Hill, Inc., New Jersey, USA.
- Rebiasz, B. (2007). Fuzziness and randomness in investment project risk appraisal. *Computers & Operations Research*. 34(1), 199-210.
- Romero, C. (1986). A survey of generalized goal programming. *European Journal of Operations Research* 25, 183-191.
- Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science* 32(7), 841-855.
- Saaty, T.L. ve Vargas, L.G. (2000). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 34, Kluwer, Boston.
- Sridharan, R. ve Babu, A.S. (1998). Multi-level scheduling decisions in a class of FMS using simulation based metamodels. *Journal of the Operational Research Society* 49, 591-602.
- Steuer, R.E. ve Na, P. (2003). Multiple criteria decision making combined with finance. A categorical bibliographic study. *European Journal of Operational Research* 150, 496-515.
- Tamiz, M. Jones, D. ve Romero, C. (1998). Theory and Methodology: Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research* 111, 569-581.
- Teng, J.Y. ve Tzeng, G.H. (1998). Transportation investment project selection using fuzzy multiobjective programming. *Fuzzy Sets and Systems* 96, 259-280.

Van Groenendaal, W.J.H. (1998). Estimating NPV variability for deterministic models. *European Journal of Operational Research* 107, 202-213.

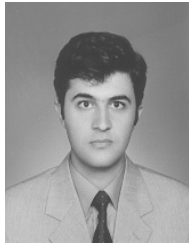
Yalçinkaya, Ö. ve Bayhan, G.M. (2009). Modelling and Optimization of Average Travel Time for a Metro Line by Simulation and Response Surface Methodology. *European Journal of Operational Research*. 196, 225-233.

Zeleney, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York.



Özgür ARMANERİ, 1978 yılında İzmir’de doğdu. 1996 yılında Aydın Ortaklar Anadolu Öğretmen Lisesi’nden, 2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Daha sonra Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği yüksek lisans programına başladı. Ocak 2003’te “Endüstriyel bir işletme için fizibilite etüdü yapılması” başlıklı tez çalışması ile yüksek lisans öğrenimini, Mart 2009’da “Riskli yatırım projelerinin değerlendirilmesi için bütünlük çok kriterli karar verme metodolojisi” başlıklı tez çalışması ile doktora öğrenimini tamamladı. 2000 yılından 2008 yılı sonuna kadar Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışan Armaneri, 2009 yılı başında üniversitedeki görevinden ayrılarak T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı’nda (KOSGEB) Uzman Yardımcısı olarak görev yapmaya başladı. Başlıca ilgi alanları; mühendislik ekonomisi, yatırım projelerinin değerlendirilmesi, proje yönetimi, tahminleme ve regresyon analizidir. Ulusal ve uluslararası bilimsel yayınları bulunan Armaneri evlidir ve iyi düzeyde İngilizce bilmektedir

(<http://kisi.deu.edu.tr/ozgur.armaneri>).



Özgür YALÇINKAYA, 1978 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini aynı şehirde tamamladı. 2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü bölüm birinciliği derecesi ile tamamladı. 2001 yılından bugüne aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Yalçinkaya, 2004 yılında yüksek lisans eğiti-

mini bitirdi ve halen eğitimine doktora öğrencisi olarak devam etmektedir. Makina Mühendisleri Odası, Yöneylem Araştırması Derneği, Kırıkkale Anadolu Lisesi Mezunları Derneği üyesi olmakla birlikte meslek odasında öğrenci üye olarak başlayan çalışmalarını MMO İzmir Şube Yönetim Kurulu Sayman Üyesi olarak sürdürmektedir. Ulusal ve uluslararası bilimsel yayınları ve bilimsel/mesleki etkinlik düzenleme/yürütme kurulu üyelikleri, mesleki dergi yayın kurulu üyeliği olan Yalçinkaya evlidir ve iyi düzeyde İngilizce bilmektedir (<http://kisi.deu.edu.tr/ozgur.yalcinkaya>).